M

Health and Welfare Canada
Environment Canada

Santé et Bien-être social Canada
Environnement Canada

ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS ACT

Hazard Assessment Report on Cadmium

Canada

83-EHD-101
EPS 3-EP-83-9

December 1983

84- 3232 /

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE REPORT SERIES

Economic and Technical Review Reports relate to state-of-the-art reviews, library surveys, industrial inventories, and their associated recommendations where no experimental work is involved. These reports are undertaken either by an outside agency or by the staff of the Environmental Protection Service.

Other categories in the EPS series include such groups as Regulations, Codes, and Protocols; Policy and Planning; Technology Development; Surveillance; Training Manuals; Briefs and Submissions to Public Inquiries; and, Environmental Impact and Assessment.

Inquiries pertaining to Environmental Protection Service Reports should be directed to the Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 1C8.

ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS ACT

Hazard Assessment Report on Cadmium

Disponible en français

s'adresser à la

Section des publications
Service de protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

ou à la

Direction générale des affaires publiques
Santé et Bien-être social Canada
5ième étage
imm. Brooke Claxton
Ottawa, Ontario
K1A 0K9

et demander:

"Loi sur les contaminants de l'environnement-
Rapport d'évaluation des dangers potentiels du cadmium"

Copies of this publication can be obtained from:

Public Affairs Directorate
Department of National Health and Welfare
5th Floor
Brooke Claxton Building
Ottawa, Ontario
K1A 0K9

or

Publications Section
Environmental Protection Service
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 1C8

©Minister of Supply and Services Canada-1983
Cat No.: En 48-3/83-9E
ISBN: 0-662-12986-5

ABSTRACT

The adverse environmental and human health effects of cadmium and its compounds have been subjected to intensive national and international scrutiny and regulatory activity during recent decades. This report describes an investigation, carried out jointly by the Department of National Health and Welfare and the Department of the Environment, under the authority of Subsection 3(3) of the Environmental Contaminants Act. The purpose of this study was to determine whether activities related to the production and use of cadmium and its compounds in Canada represent a significant danger to human health or the environment. The methodology employed in this assessment of hazard included a critical review of recent published and unpublished information and a comparison of the existing concentrations of cadmium in a variety of environmental media, biota, and humans with those concentrations representative of significant danger. On the basis of the best available information, there is insufficient evidence of hazard to justify the implementation of national regulatory control action pursuant to the Environmental Contaminants Act at this time. It is emphasized, however, that this determination does not preclude the future use of the Environmental Contaminants Act for the control of cadmium, particularly for local pollution problems in the vicinity of large discharge sources; nor does it diminish the need for existing control programs associated with other statutes, or for prudent measures to minimize releases of cadmium.

RÉSUMÉ

Les effets néfastes du cadmium et de ses composés pour l'homme ou l'environnement ont fait l'objet d'études minutieuses et de réglementation tant au niveau national qu'international. Il est question dans ce rapport d'une étude menée conjointement par le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social et le ministère de l'Environnement dans le cadre du paragraphe 3(3) de la Loi sur les contaminants de l'environnement. Cette étude visait à déterminer si les activités reliées à la production et l'utilisation du cadmium et de ses composés, au Canada, présentaient un danger significatif pour l'homme ou l'environnement. L'évaluation des dangers potentiels du cadmium comportait, entre autres, une étude rigoureuse de la récente documentation publiée ou non sur tout ce qui touche le cadmium et ses composés et la comparaison des teneurs actuelles en cadmium dans une variété de milieux; de biotes et chez les humains aux teneurs représentatives d'un danger significatif. En se fiant à la meilleure information disponible, le cadmium ne semble pas présenter de danger potentiel significatif qui puisse actuellement justifier la mise en vigueur de règlements restrictifs à l'échelle nationale, en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement. On souligne cependant que cette décision n'exclut pas le recours dans le futur à ladite loi pour le contrôle du cadmium, en particulier pour les problèmes de pollution locale à proximité de sources importantes de rejet. Il est également précisé que cette décision n'élimine pas pour autant la nécessité des programmes actuels de contrôle appliqués dans le cadre d'autres lois, ou l'adoption de mesures judicieuses pour minimiser les rejets de cadmium.

PREFACE

Cadmium and its compounds were studied jointly under the auspices of the Environmental Contaminants Programs of the Department of the Environment and the Department of National Health and Welfare to determine whether the release of these substances during their production, processing, use or disposal constitutes a significant present or future danger to human health or to the environment in Canada.

This report presents our assessment of the need to invoke the Environmental Contaminants Act to control the release of cadmium and its compounds. It also contains a brief description of the scope of our investigation and a summary of the factual data on which the conclusion is based. Two appendices provide an overview of the general findings of a detailed review of published and unpublished literature on cadmium and a bibliography of extensive sources of environmental and human health information on cadmium. The vast amount of available information on cadmium precludes the identification or discussion of individual sources of data in a report of this brevity (however, see Appendix 2).

The scientists chiefly involved in this study were Mssrs. John R. Harrison and James W.S. Jamieson, Bureau of Chemical Hazards, Health and Welfare Canada, and Donald J. MacGregor, Contaminants Control Branch, Environment Canada, the principal author of this report.

With the exception of airborne cadmium, for which concentrations are reported as mass of cadmium per standard cubic metre of air (e.g., 17 $\mu g/m^3$), the units of concentration employed throughout this report are parts per trillion (ppt), parts per billion (ppb), and parts per million (ppm). For liquids, these units specify the mass of cadmium per unit volume of liquid (i.e., 1 ppb = one part of cadmium by weight in 10^9 parts of liquid by volume = 1 µg/L = 1 ng/mL, etc.); for solids, they specify the mass of cadmium per unit mass of sample. Unless otherwise stated, concentrations of cadmium in solids are based on the weight of oven-dried samples.

TABLE OF CONTENTS

		Page
ABSTRACT		i
RÉSUMÉ		ii
PREFACE		iii
1	THE ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS ACT	1
2	SCOPE OF THE CADMIUM INVESTIGATION	3
3	EVALUATION CRITERIA	5
4	HAZARD ASSESSMENT AND CONCLUSIONS	8
APPENDIX 1 - OVERVIEW OF FINDINGS		18
APPENDIX 2 - BIBLIOGRAPHY		36

1 THE ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS ACT

The Environmental Contaminants Act (Canada Gazette Part III, Vol. 1, No. 12, 1975) is a comprehensive Canadian statutory authority for the protection of human health and the environment from substances that contaminate the environment. A unique feature of the Act is that it encourages the two Ministers and their Departments to adopt a total ecosystem perspective of pollution by environmental contaminants, in contrast to the narrower focus of earlier media- and site-specific legislation, such as the Clean Air Act and the Fisheries Act, or commodity-specific legislation, such as the Food and Drugs Act and the Hazardous Products Act.

Subsection 3(3) of this Act authorizes the Minister of the Environment or the Minister of National Health and Welfare to collect data and to conduct various investigations should they suspect that "a substance is entering or is likely to enter the environment in a quantity or concentration or under conditions that may constitute a danger to human health or the environment." The same subsection also authorizes the Ministers to correlate and evaluate such data and to publish the results of any investigations. This report constitutes such a publication in respect of cadmium and its compounds.

Investigations conducted under the authority of the Environmental Contaminants Act can lead to the issuance of restrictive regulations under the Act only if the Ministers are satisfied, after consultation with other federal departments and the provinces, that such regulatory action under the authority of other Acts will not alleviate a significant danger to human health or the environment. For example, regulations to control chlorofluorocarbon propellants were issued (Canada Gazette Part II, May 27, 1981) only after it was established that neither the Clean Air Act nor the Hazardous Products Act could adequately prevent deterioration of the ozone layer. In the event that a decision is taken to invoke the Environmental Contaminants Act, the substance or class of substances is added to the Schedule to the Act. Scheduled substances may be controlled in terms of: the amounts released beyond a specified maximum quantity or concentration in the course of a commercial, manufacturing or processing activity; the use or sale of the substance; or, the importation, manufacture or sale of any product which contains the scheduled substance in a quantity or concentration in excess of a proscribed maximum. The power of the Environmental Contaminants Act virtually to remove a substance or class of substances from Canadian commerce is balanced by: the consultation processes noted above; a review period for proposed regulations; a formal Board of Review process

in response to objections to proposed regulations; and the Socio-Economic Impact Analysis review required by the federal government for any regulation which has an impact in excess of $10 million.

It is, therefore, important to note that a decision not to regulate a substance or a class of substances by means of the Environmental Contaminants Act does not in any way imply that regulations pursuant to any other Act of Parliament or any provincial statute are unnecessary. Indeed, studies undertaken by virtue of the Environmental Contaminants Act may serve as a partial basis for regulatory activity by other government agencies. Furthermore, although the large number of potential contaminants in commerce has limited current activities under the Act to substances which are potentially dangerous to the health of all Canadians or to the Canadian environment in general, it may be invoked in future to protect specific populations or geographic locations.

The administrative response to the requirements of the Environmental Contaminants Act has included the development of a List of Priority Chemicals (Canada Gazette Part I, May 20, 1978). In this list, chemicals of interest are divided into three categories which reflect their status with respect to the development of regulations or the degree of concern over the substance and the types of investigation required to reach a regulatory decision. Chemicals assigned to Category I are "Those substances which are in the Schedule to the Act and for which further regulations or specific control strategies are being developed." Category II includes "Those substances which are being investigated to determine the nature and the extent of the danger to human health or the environment and the appropriate means to alleviate that danger." Category III comprises "Those substances which may pose a significant danger to human health or the environment and about which further detailed study or information (for example toxicology, amounts used, or concentrations in the environment) is necessary" (Canada Gazette Part I, January 16, 1982).

The List of Priority Chemicals, published periodically, is an "active" list which is reviewed and amended from time to time as a result of new findings. Cadmium was assigned to Category III in 1978 and has been assigned to Category II since 1979 (Canada Gazette Part I, December 1, 1979). The nature and scope of the Category II investigation accorded to cadmium and its compounds are described below.

2 SCOPE OF THE CADMIUM INVESTIGATION

The joint investigation of cadmium and its compounds included the following activities:

1. Published and unpublished information on relevant aspects of environmental cadmium (see below) was reviewed, and methods for the identification, acquisition, storage, evaluation and description of appropriate documents were developed. Approximately 5000 documents, including books, review articles, conference proceedings, data compilations and research publications, were screened by the two departments. Primary attention was paid to material produced after 1975.
2. A review of the chemical and physical properties of cadmium and its more important compounds was performed, with particular attention paid to those properties which influence chemical analysis, environmental distribution, industrial utilization and toxicity.
3. Legislation, regulations and guidelines which pertain to the control of environmental cadmium pollution in Canada and in other countries were reviewed and compared.
4. Canadian and foreign commercial statistics and information relating to production, imports, exports, present and future uses, commercial alternatives to cadmium, losses to the environment during production and use, recycling and waste disposal were collected.
5. Methods for the chemical analysis of environmental and commercial substances for their cadmium content were reviewed. Particular attention was paid to the reliability of data obtained by different analytical methods, as exemplified by recent quality assurance investigations.
6. Levels of cadmium in a variety of environmental media, including air, atmospheric deposition, water, sediments, soil, commercial and household products, plants and animals, were reviewed. Background levels, normal concentration ranges, and levels due to environmental contamination were compared in each instance for which data were available for Canada and other countries. Information on trends of cadmium concentrations in environmental samples was also collected and evaluated. In addition, prevailing environmental cadmium levels in Canada were compared with concentrations which are representative of thresholds for chronic toxic effects in humans and in biota.

7. Sources of human exposure to cadmium in Canada were evaluated, and an estimate of normal total Canadian daily exposure to the element was prepared.
8. The human biochemistry and physiology of cadmium were reviewed, with emphasis on modes of ingestion and absorption, tissue distribution, long term organ storage and elimination.
9. Human acute and chronic responses to cadmium were surveyed, with emphasis on threshold levels, adverse physiological effects, epidemiological investigations, teratogenic, mutagenic and oncogenic effects, toxic interactions in combination with other non-essential and essential elements, and existing body burdens of cadmium in the Canadian population.

A summary of the major findings of this investigation and review is presented in Appendix 1.

3 EVALUATION CRITERIA

In simple terms, the danger or hazard presented by a chemical contaminant in a given environmental component under defined conditions can be regarded as a direct function of the amount of substance present (expressed in units of concentration), its toxicity, and its stability or persistence. Generally, it follows that, if any of these three factors is comparatively very small, the associated hazard will also probably be small. In real cases, a wide range of other variables can affect the outcome of such an analysis. These include: the chemical form of the contaminant (which controls the amount available for uptake by biota and the specific toxicity); the rate of movement of the substance between environmental compartments; the species, age and sex of exposed biota; the presence or absence of other substances which absorb or complex the contaminant, or enhance or decrease its toxicity; and environmental variables such as temperature, wind, rainfall and sunlight intensity. The above factor analysis concept serves as the basis for a simple evaluatory framework. It has been employed in the process of selecting substances for the List of Priority Chemicals (Canada Gazette Part I, January 16, 1982). For these reasons, it is also employed as the format of the hazard assessment which follows in Section 4.

Several general principles were followed in the evaluation of information which pertains to the toxicity of cadmium, to the quantities of cadmium in the Canadian environment, and to its environmental persistence. Of these, the most important was that data be reviewed critically, rather than accepted at face value. In instances where critical analysis indicated that the best available data were of poor quality (as was the case, for example, with statistics on the amount of cadmium in Canadian commerce), we resorted to the use of a "worst possible case" scenario and employed estimates of the **maximum** amount of the element which was likely to be involved.

In the area of human health, qualitative estimation of the extent of significant danger was based on the so-called "critical" concentration of cadmium in the human renal cortex, a threshold level below which no chronic human health effects are believed to occur in the general population. The probable extent of cadmium accumulation from all sources was considered in this analysis; detailed scientific consideration of the significance of cadmium accumulation from any single environmental source (such as diet or smoking) was beyond our area of concern as defined by the Environmental Contaminants Act so long as the estimated total from all sources did not exceed the "critical" threshold. (Other government agencies, however, are actively pursuing the scientific investigations

which are required to provide greater definition to fundamental aspects of cadmium's toxicity and uptake from various sources.)

"Critical" tissue levels were rarely available for environmental plant and animal life, so that other approaches were called for. The lowest applied experimental cadmium dose which had caused an adverse chronic effect (usually a decrease in growth or the impairment of a physiological function) in the most sensitive reported species was employed to deduce environmental concentrations of cadmium below which no significant danger would be expected. This approach contains an inherent margin of safety, since the lowest reported chronic effect doses are not always the products of the best studies and since there is a growing body of evidence that some biota can tolerate higher concentrations of cadmium "in the wild" than under artificial laboratory conditions. Since it would have been premature to equate behavioral effects with significant danger, reported chronic effects of this type were excluded from our analysis. An offsetting consideration here was that the increasing number of reports that subchronic concentrations of cadmium give rise to beneficial effects in a range of organisms was also discounted. Another element of our approach involved the detailed study of the reported effects of cadmium on biota in other countries in areas which are known to be grossly contaminated with cadmium, since such data are generally unavailable in Canada. In spite of "conventional wisdom" to the contrary, only slight adverse chronic effects on biota have been observed in general at such locations. (The major exception to this generalization is the eradication of certain plant species in the vicinity of major point sources of airborne heavy metals. In these cases the contribution of cadmium cannot be separated from the adverse effects of other known pollutants.) This phase of our investigation led us to be highly skeptical of expressed concerns over observations of "high" concentrations of cadmium in biota from the perspective of their well-being, since the reported range of cadmium in the kidney tissues of healthy fish, birds and mammals from uncontaminated areas, for example, is from the low parts-per-billion to 480 ppm (at least five orders of magnitude), and since "critical" concentrations in this organ have been estimated only for man, horses, and experimental rodents. Finally, in the few cases in which reliable data were available for tissue levels in Canadian wildlife and domestic animals, these were compared with similar data from other countries in a search for anomalously high concentrations.

A major component of the review of prevailing concentrations of cadmium in the Canadian environment was the critical assessment of the analytical methods and quality assurance procedures associated with a wide range of sample types. The criteria

for assessment of this type of information included comparisons of limits of detection with reported concentrations, examination of the consistency of reported data with other knowledge (for example, comparison of reported atmospheric deposition quantities with amounts released to the atmosphere), evaluation of methods employed for the statistical analysis of data (such as noting incorrectly reported "averages" for ranges which include quantities too small to measure), determination of the extent of confirmation of results by the use of alternative methods, and so on. On the basis of this type of evaluation, we characterized various published results as preliminary or unconfirmed, as accurate within certain limits, as probably being higher than the concentration of cadmium actually present, or as being unreliable. These types of provisos are included in Section 4 and in Appendix 1. It should be noted that several of our findings are at variance with those reported earlier on the basis of less critical approaches. For example, concentrations of cadmium in Canadian drinking water are now known to be some three orders of magnitude lower than values quoted for this type of water in contemporary worldwide review literature.

4 HAZARD ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

4.1 Toxicity and Exposure

The acutely toxic nature of cadmium to humans was established in the middle of the last century. Estimates of the lethal human oral dose vary from 350 to 3500 mg and reported lethal doses range from 1.5 to 8.9 g. The no-effect acute oral dose in man is estimated to be 3 mg. The lethal dose of inhaled cadmium in air is related to the product of its concentration times the period of exposure; this is estimated to be 2.5 to 2.9 g/m^3 during one minute, which is equivalent to 42 to 48 mg/m^3 during one hour, etc. Most of the human fatalities due to cadmium reported up to 1945 were associated with airborne industrial exposure. Sublethal acute airborne cadmium poisoning is characterized by a range of dose-related symptoms of increasing severity which include headache, weakness, fever, chest pains, nausea, dryness of the nose, vomiting, diarrhea, and lung oedema. Sublethal acute cadmium poisoning, which usually manifests itself as a violent gastritis, has also been commonly associated with the cadmium contamination of foods or beverages in contact with electroplated metal surfaces.

The notorious Itai-itai disease in Japan, which affects bone mineralization, has been attributed to the long-term ingestion of about 600 µg of cadmium per day in the diet, although a poor nutritional status and other factors were also probably involved. In this regard, a more recent investigation of the effects of high levels of dietary cadmium, in the village of Shipham, England, found no evidence of the onset of this disease. A related form of osteomalacia (abnormal bone mineralization) has also been attributed to long-term occupational exposure to high concentrations of cadmium in air (in the mg/m^3 range). Lengthy occupational exposure to airborne cadmium concentrations in excess of a few hundred micrograms per cubic metre has been reported to cause a variety of conditions which include dyspnea, emphysema, anosmia, rhinitis, ulceration of nasal mucosa, yellow discoloration of the teeth, proteinuria and renal lesions. Long-term exposure to very low cadmium levels from a variety of sources leads to its slow accumulation in soft tissues, particularly in the liver and kidneys. The initial clinical symptom of cadmium-induced renal disease is usually proteinuria, which may also be associated with related effects such as amino-aciduria, glucosuria, and hypercalciuria. Within the past few years, however, it has also become possible to estimate cadmium concentrations in the intact human liver and kidney by means of portable neutron activation analysis instruments.

Animal experiments have demonstrated that cadmium can induce certain types of cancer, but the significance of these experiments with regard to cadmium's status as a human carcinogen is questionable since the method of administration used was direct injection into tissue. Several epidemiological surveys of small numbers of workers with histories of long-term exposure to cadmium have found slightly higher than expected incidences of certain kinds of cancer. Thus, the element is perhaps best regarded as a suspected human carcinogen, probably of low potency. The scientific literature does not yet contain unequivocal information on the mutagenicity of cadmium in humans. It also remains to be demonstrated that cadmium by itself is responsible for chromosomal aberrations which have been observed in industrially exposed workers.

The role of cadmium in human hypertension is another area of controversy, although there is no doubt that the element can induce hypertension in laboratory animals under certain conditions.

Since the first adverse effects of chronic cadmium exposure that can usually be detected by routine clinical tests are due to kidney damage, this organ is considered to be of primary diagnostic importance. Much effort has gone into determining the so-called "critical" renal cadmium concentration, that is, the level above which further cadmium accumulation will probably cause the onset of clinical signs of kidney damage. Values of between 100 and 500 ppm (wet weight basis) in "average" human renal cortex tissue have been considered to correspond with this "critical" concentration; 200 ppm at age 50 has been generally accepted as the best estimate. Acceptance of the latter has led to the selection of a fresh weight renal cortex cadmium concentration of 50 ppm at age 50 as a reasonable value for a "no-adverse effect level" in humans whose major sources of exposure to the element are food, beverages, and ambient air. It will be noted that the capacity of the human renal cortex to absorb a further 150 ppm of cadmium on a fresh weight basis without harmful effect is thus available to accommodate other kinds of exposure, such as cigarette smoking and long-term industrial contact with low concentrations of airborne cadmium.

Pharmacodynamic models, based largely upon experimental results from small mammals, indicate that a total human oral ingestion of 60-70 µg of cadmium per day (for the "standard" 70-kg man) may lead to the accumulation of about 50 ppm (fresh weight basis) in the renal cortex by age 50, that is, to a level well below the "critical" concentration. A comparable number for safe human oral ingestion has been obtained by applying a safety factor of 100 to a "no-adverse effect level" of 125 µg Cd/kg/day obtained for the rat. On the basis of these kinds of considerations, the Food and

Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization (FAO/WHO) have proposed a "provisional tolerable weekly intake" level of 400-500 µg of cadmium per week as a guide to a safe amount of ingestion from food, drinking water, and ambient air. On the basis of similar considerations, which include detailed epidemiological studies of exposed workers, various official agencies have set occupational health standards for workplace air in the range of 10 to 50 µg Cd/m^3.

Rigorous quantitative studies on the exposure of the Canadian population to cadmium have not yet been undertaken. It is evident, however, that the three major sources of cadmium for the population at large are food, cigarette smoking, and occupational exposure. Preliminary surveys of the cadmium content of a composite national diet were performed by Health and Welfare Canada in four major cities. These surveys found an "average" annual cadmium ingestion from food and beverages of between 52 and 80 µg of cadmium per person per day, and an overall "average" of 67 µg, which corresponds with the FAO/WHO provisional guideline of 57-72 µg/day. Recent quantitative data on the cadmium content of Canadian cigarettes are also unavailable. Comparative studies on the element's concentration in tobacco leaves, however, indicate that Canadian cigarette smokers probably absorb about 0.1 µg of cadmium per cigarette smoked. Mathematical models suggest that at this level of absorption, very heavy cigarette smokers might retain as much cadmium from tobacco as they do from their food supply. The amount of cadmium absorbed from ambient air by the Canadian population at large is considered to be negligible, but the number of Canadians occupationally exposed to cadmium and the levels of occupational exposure are unknown. Such exposure, however, would not be expected to exceed a workplace air concentration of 50 µg/m^3 (the present Threshold Limit Value).

On the basis of the above limited information, it is estimated that exposure of the Canadian population at large to cadmium via the food supply, drinking water, and ambient air is comparable with the FAO/WHO "provisional tolerable weekly intake" guideline, and that smokers may exceed this guideline level. Limited support for this view is provided by a small number of Canadian renal cortex analyses. Average cadmium concentrations at ages 45 and 55 were 37 and 45 ppm, respectively, on a fresh weight basis in one investigation. Another study has reported average concentrations of 66 and 54 ppm at ages 40 and 50, respectively. The second investigation included approximately equal numbers of smokers and non-smokers; unfortunately, information on smoking habits was not disclosed in the first study. On the basis of these preliminary data, however, it appears that the average 50-year-old Canadian's renal cortex cadmium concentration is

close to the "no-adverse effect level" of 50 ppm which has been employed by the FAO/WHO.

Since, as has been noted above, the provisional FAO/WHO guideline is intended to apply only to that portion of the human body burden of cadmium which is derived from food, beverages, and ambient air, and since the renal cortex data described above indicate that levels derived from all sources (other than industrial exposure) are substantially below the "critical" concentration level of 200 ppm at age 50, there is no basis for suspicion that a significant danger is posed by cadmium to the general population of Canada. Thus, human toxicity and exposure criteria do not indicate a requirement for cadmium regulations under the Environmental Contaminants Act at this time.

A much smaller amount of relevant information is available with regard to the ecotoxicity of cadmium. This is due to: the enormously wide abundance of animal and plant species and varieties; inadequate knowledge of the physiology of individual species; difficulties in extrapolating the results of laboratory toxicity investigations (which normally involve exposure only to cadmium) to actual environmental situations (where exposure to cadmium alone is the exception, rather than the rule); and disagreement on the most suitable or sensitive test species and on various indices of chronic toxicity. Furthermore, most of the available information on cadmium's toxicity to organisms other than man deals only with the dose or exposure associated with an observed effect, rather than with the corresponding tissue levels. Thus, the hazards associated with abundantly reported cadmium concentrations in a wide range of biota are largely unknown because of a paucity of data on "critical" (or safe) tissue levels.

Cadmium's toxicity to most terrestrial plant species is comparatively low. As an extreme example, hydroponic exposure of one variety of lettuce to 50 ppm of cadmium for five weeks resulted in the uptake of 19 000 ppm in its viable roots. Other terrestrial plants have been shown to exhibit moderate growth reduction, coupled with cadmium tissue concentrations in the hundreds of parts per million, when they are cultivated in soils heavily contaminated with cadmium. Consequently, acute or chronic toxic effects of cadmium are rarely observed in terrestrial plants and are of little importance in comparison with the danger posed by its accumulation by plants to the human food supply.

Aquatic plants are also generally capable of accumulating very high concentrations of cadmium prior to the onset of toxic effects. One widely employed algal test species, for example, exhibits a 50% decrease in growth rate at aqueous cadmium concentrations between 600 ppb and 4.7 ppm (depending upon the index of growth which is

monitored). The corresponding tissue levels vary from 300 to 20 000 ppm, the lower of which is at least six times higher than algal tissue levels which have been found in highly polluted areas. The most sensitive aquatic plant species which has been tested to date appears to be a freshwater diatom. It has demonstrated a 50% decrease in its rate of carbon fixation at a cadmium concentration of 100 ppt in its growth medium; by another measure of growth, however, the same organism exhibits no growth reduction at an exposure level of 8.5 ppb. As is noted in Appendix I, even the lower of the above concentrations is in excess of levels in unpolluted ambient water. Because cadmium is strongly associated with chloride ion in sea water, it is less bioavailable to organisms there than in freshwater. This is reflected by a higher cadmium concentration (about 100 ppb) associated with slight growth reduction in a comparatively sensitive species of marine diatom.

Toxic effects of cadmium in aquatic animals also occur at aqueous concentrations which are high in comparison with prevailing environmental concentrations. The most sensitive freshwater species identified to date is *Daphnia magna*, which exhibits reduced reproduction at a cadmium concentration of 150 ppt. The lowest reported median lethal cadmium concentration is 1 ppb, for bass larvae and rainbow trout in soft freshwater. In the marine environment, the most sensitive organism appears to be a Mysid shrimp, which shows no observable adverse effects in life cycle tests at a cadmium concentration of 4.8 ppb and for which the median acutely lethal concentration is 15.5 ppb. Since uncontaminated marine waters rarely contain a cadmium concentration in excess of 100 ppt, the margin of safety for marine organisms appears to be greater than that for freshwater species.

Although the relative importances of water and the food supply in governing cadmium body burdens in aquatic animals have not been fully established, the best available evidence indicates that, in general, it is the concentration of biologically available cadmium in the water which is the more important. (Exceptions to this generalization may apply in heavily polluted ecosystems and in the case of organisms which dwell in and on aquatic sediments.) For this reason, earlier concerns that cadmium body burdens (and, by implication, toxic effects) might increase progressively in aquatic food chains ("biomagnification") now appear to be largely unjustified. Tissue levels in specimens collected from polluted areas are generally higher than in comparable samples collected from unpolluted areas, however, since the extent of bioaccumulation is a function of the concentration of available cadmium.

With the exception of experiment data for laboratory rodents (LD_{50} estimates for various orally dosed cadmium compounds in the rat, for example, have a median value of approximately 300 mg/kg and range from 16 to >5000 mg/kg), only fragmentary information about cadmium's acute toxicity to terrestrial animals is available in recent scientific literature. Older literature contains a few references to fatal poisonings of domestic animals (usually ruminants) in which cadmium was implicated, but such reports rarely contain information on the associated doses. In general, lethal doses of cadmium are probably sufficiently high that their ingestion from food or water by terrestrial animals is extremely unlikely. Thus, only long term chronic exposure to the element is of practical interest.

Chronic feeding studies have been performed with several species of domestic animals. The lowest concentration associated with a chronic effect appears to be 1 ppm of cadmium in the feed of one-day-old quail; the observed intestinal tissue degeneration, however, was transient. Decreased egg shell stability was reported for hens at a dietary concentration of 10 ppm, and a reduction in feed intake by domestic poultry occurred at a dietary level of 60 ppm of cadmium. The lowest reported dietary concentration to cause a chronic effect in larger domestic animals was 5 ppm in the diet of lambs. This concentration caused a decrease in feed intake and growth compared to controls in one study, but not in another. Since the normal concentration of cadmium in uncontaminated feed for domestic animals rarely exceeds 500 ppb, it seems extremely improbable that cadmium constitutes a general hazard to the health of domestic animals.

Unfortunately, the impact of environmental cadmium on the health of terrestrial wildlife, especially in the vicinity of known emission sources, remains largely unknown. By analogy with toxicity data for domestic animals, however, it can be argued that chronic toxic effects and elevated cadmium tissue levels would be expected to occur in wildlife in the vicinity of major pollutors. No direct evidence for such effects has been reported to date in Canada, however.

On the basis of this analysis of ecotoxicity and environmental exposure data, therefore, and with the possible exception of contaminated areas, there is no foundation for belief (in the context of the Environmental Contaminants Act) that prevailing concentrations of cadmium constitute a general hazard to the Canadian environment.

4.2 Environmental Persistence and Levels in the Environment

Cadmium, like most other chemical elements, is immutable and exists indefinitely in the environment. Given its infinite lifetime in the environment, it becomes

important to investigate its accumulation in environmental compartments, their associated biota and man, and to ascertain whether or not this accumulation has occurred or could occur to a hazardous extent. Trends of accumulation and the identification of environmental "sinks" are of equal importance, particularly if present levels are close to concentrations known to be harmful.

It has been concluded on the basis of the best available information that present levels of cadmium in the environment and human population of Canada at large are uniformly below those concentrations which are known to be hazardous (see also Appendix 1). As well, these levels (with the possible exceptions of the food supply and human tissue levels) are generally lower than levels in other industrialized countries. Since cadmium only became commercially significant early in this century, however, its accumulation trend during the past four to five decades has been upward in environmental "sinks." Thus, although existing levels are generally regarded as safe, future monitoring of environmental compartments, biota, and human tissues and diet will be required to verify that the magnitude of the continuing upward trend remains small. Cadmium is of particular importance in this regard since its potential for accumulation in virtually all media and biota is known to be very much greater than concentrations which are considered to represent thresholds for hazardous effects. Accordingly, particular vigilance is called for in the vicinity of known cadmium releases and in monitoring body burdens of that portion of the Canadian population which is occupationally exposed to cadmium and cadmium compounds.

Since the time required to reach hazardous threshold concentrations on a widespread basis at present accumulation growth rates is very long, environmental persistence criteria do not dictate a present requirement for cadmium regulations under the Environmental Contaminants Act.

4.3 Quantities, Uses and Disposal

Expressed as percentages of total estimated world production until 1979, global cadmium production during the 1950's, 1960's and 1970's accounted for 15, 30 and 35%, respectively, of the total world cadmium production of approximately 430 000 tonnes. In terms of growth in average total annual world cadmium consumption, growth rates during the 1950's, 1960's and 1970's were approximately 6, 2.8 and 2.3% per year, respectively.

Within the recent past, the cadmium content of Canadian zinc ore concentrates has been approximately 3500 tonnes annually. This represents some 25% of present

annual free-world cadmium production. Annual Canadian production of elemental cadmium is approximately 1200 tonnes on an average basis; the balance of total mining production (minus comparatively small processing and transportation losses) is contained in exported ore concentrates. Most of Canada's refined cadmium production is also exported. Maximum national consumption of the pure element is estimated to be about 125 tonnes per year, of which about 50 to 65% is probably used for electroplating. The remaining domestic refined cadmium consumption appears to be used in alloy production (about 35%) and in the production of a few cadmium chemicals (about 15%). In addition, up to 50 tonnes of cadmium may be contained in annual imports of pigments, alloys, and fabricated materials, and a further net amount of up to 100 tonnes per year may be present in a wide range of imported manufactured goods. Thus, present estimated annual cadmium consumption in Canada is believed to be not more than 275 tonnes, or approximately 2% of free-world production.

For purposes of comparison, in 1974, world utilization of cadmium was considered to consist of electroplating (33%), pigments (26%), plastics stabilizers (15%), batteries (14%) and other uses (12%). Considerable differences exist, however, between world utilization statistics and those of individual nations, including Canada, and substantial annual variations also occur.

Of the annual maximum cadmium content of 275 tonnes in manufactured products in Canada, approximately 90% is probably disposed of in landfills and dumps where it is virtually immobilized, so that no more than 30 tonnes per year is likely to be discharged to air or water as a consequence of the commercial utilization of the element and its compounds. Very little cadmium is known to be recycled in Canada.

Much larger quantities of cadmium enter the Canadian environment (in particular, the atmosphere) as a result of activities other than the refining and use of cadmium and its compounds. In 1972, for example, copper and nickel smelting were considered to account for the atmospheric emission of 397 tonnes of cadmium, fuel combustion contributed an estimated 89 tonnes, and a variety of other sources were responsible for atmospheric emissions of 22 tonnes of cadmium. Metal mines, mills, smelters and refineries have been estimated to discharge up to 40 tonnes of cadmium per year in wastewater. Municipal sewage discharges may contribute a further three to ten tonnes per year to the aquatic environment. In addition to waste disposal and atmospheric deposition, sources of cadmium to soil include municipal sewage sludge (up to 25 tonnes annually) and the incidental cadmium content of phosphate fertilizers (up to 50 tonnes annually).

It is evident that the amount of cadmium which is dispersed into sensitive portions of the Canadian environment, either as a direct consequence of its domestic refining or of the use of cadmium or its compounds in consumer products, is small in comparison with that which is released from other sources.

Quantitative aspects of the environmental fate of these emissions are not well understood. Annual oceanic discharges from the St. Lawrence River, for example, the only Canadian river serving as an environmental output for which an estimate is available, amount to approximately 60 tonnes. The proportion of this which is of commercial, rather than natural origin, is unknown. Similarly, the fate of atmospheric emissions is understood only in general terms. Atmospheric dry deposition (dustfall) of particulate cadmium is directly related to particle size and decreases exponentially with distance from the emission source. Very small particles, however, are normally less subject to dry deposition and can thus be transported for considerable distances before they are "scrubbed" from the atmosphere by rain or snowfall. Although the amounts of cadmium added to and removed from the Canadian environment by long-range atmospheric transport are unknown, rough calculations based on preliminary determinations of the cadmium content of wet deposition (rain and snow) in Canada and on the lowest deposition rates reported to date in North America suggest that the atmospheric deposition of cadmium might contribute several hundred tonnes per year in excess of known Canadian atmospheric emissions.

Since overall discharge rates would have to be very much increased in order to closely approach dangerous threshold levels in the nation as a whole, and because existing controls can be predicted to decrease prevailing levels of release, there is no present requirement to promulgate regulations under the Environmental Contaminants Act for the control of the environmental loading of cadmium.

As has been noted above, however, this does not preclude the future use of this Act or any other appropriate Act to control cadmium releases in the vicinity of major pollution sources.

4.4 Conclusion

As has been noted in Section 1, the Environmental Contaminants Act specifies that regulations to control the entry of a substance into the environment may be proposed only where the Ministers are satisfied that a significant danger exists or will be created.

For the specific reasons given above, and on the basis of a critical evaluation of the best information found on the environmental and human effects of cadmium (see Appendix 1), it is concluded that:

Within the context of the Environmental Contaminants Act, the Departments are not satisfied that the present level of entry of cadmium and its compounds to the Canadian environment constitutes a significant danger to human health or to the environment. Accordingly, the development of regulations under the Environmental Contaminants Act to control the entry of cadmium into the environment in the course of commercial, manufacturing or processing activities is not warranted at this time.

Notwithstanding this conclusion, the following points should be noted. Apart from occupational exposure and that due to smoking, the major source of cadmium exposure for the general population is food. For some Canadians, dietary intake of cadmium appears to be close to the provisional tolerable intake level recommended by the Joint Expert Committee on Food Additives of the FAO/WHO. More definitive information, therefore, is required to fully assess the human health implications arising from dietary exposure to cadmium in Canada. For this and related reasons, it is the policy of the Departments of the Environment and National Health and Welfare that prudent steps should continue to be taken to minimize releases of cadmium into sensitive compartments of the environment, such as agricultural soils, ambient air, and susceptible aquatic ecosystems. The disposal of cadmium and its compounds into properly managed landfills, however, and the disposal of low concentrations of the element in ocean dumpsites under the provisions of the Ocean Dumping Control Act, constitute environmentally acceptable practices.

This determination does not preclude either the subsequent development of regulations under the Environmental Contaminants Act (should new evidence indicate either a significant hazard to human health or the environment, or the occurrence of significant danger at specific geographic locations within Canada), or the promulgation under any other Act of Parliament of regulations pertaining to the release of cadmium to the Canadian environment or to the cadmium content of commercial commodities.

APPENDIX 1 - OVERVIEW OF FINDINGS

1. Scientific and Technical Cadmium Literature

The output of major abstracting services (such as *Cadmium Abstracts* and *Chemical Abstracts*) indicates that the present rate of production of books, reviews, symposium proceedings, reports, patents and scientific and technical papers of relevance to human health and environmental aspects of cadmium is approximately 200 per month. It follows that much existing scientific information will be obsolete within a very few years, especially in several of the more active areas of present interest such as analytical methodology, dietary intake, human body burden, background levels of cadmium in environmental media, and environmental toxicology.

2. Chemical and Physical Properties of Cadmium

The most important chemical and physical properties of cadmium from the environmental perspective appear to be its propensities to form stable complexes, to precipitate as its insoluble sulfide in anaerobic surroundings (and, conversely, to oxidize and become mobile in aerobic surroundings), to dissolve at low pH, to pass readily (for a metal) into the vapour phase (in which it is usually rapidly converted to its oxide in the presence of air), and to exhibit a strong association with zinc and its compounds. Unlike mercury, however, there is no evidence that cadmium is converted to stable methylated derivatives in the environment. In addition, the electrochemical and photochemical properties of the element and its compounds appear destined to be of increasing future interest and importance. Although these properties are well understood in isolation, they serve only as guidelines to cadmium's behaviour in the environment. For example, basic information of predictive value about the behaviour of cadmium in the soil/plant ecosystem, in the atmosphere, and in the water/suspended solids/sediment system can only be characterized as scant.

3. Regulations and Guidelines for the Control of Cadmium Pollution

Regulations and guidelines for the control of cadmium pollution in the total Canadian environment compare favourably with those in most other industrialized countries.

Regulations and/or guidelines for the control of cadmium pollution in Canada exist for: surface water; dredge spoils dumped in lakes; electroplating wastes and other industrial wastewaters; wastes dumped in oceans; sewage sludge which is applied to

agricultural land; agricultural fertilizers derived from sewage sludge; work-place air; ambient air; drinking water; leachable cadmium in glazed ceramic products; paints employed on infant children's toys; and plastics which come into contact with food.

No Canadian regulations or guidelines were found which pertain to the specific cadmium content of: emissions to the atmosphere from industrial point sources; ambient air in the vicinity of industrial point sources; atmospheric deposition; agricultural soils; agricultural chemicals and phosphate fertilizers; aquatic sediments; municipal wastewater; mining wastewater; solid waste of municipal or industrial origin; marine and estuarine waters; discharges into marine or estuarine waters; surface coatings on metals; pigments; plastics; biocides; foods or food products; household goods other than children's toys; or dental products. Guidelines and/or regulations do, however, exist for many of the above in other countries, and some of these may be followed by Canadian industries and agencies.

Ontario regulations with regard to the amounts of cadmium which can be applied to arable land by means of sewage sludge are more stringent than most comparable U.S. guidelines and regulations and less stringent than most of those in Europe. These sludge application regulations, if followed by the agricultural community, should prevent the addition of further measurable amounts of cadmium to the food supply.

Guidelines for acceptable concentrations of cadmium in surface waters have become more stringent in recent years, because of improved knowledge of aquatic toxicology. The most recent guideline concentration for cadmium in the Great Lakes (200 ppt), for example, is substantially below the present detection limit capability of most monitoring agencies and is one twenty-fifth of the recently lowered maximum acceptable concentration guideline for Canadian drinking water. Even the Great Lakes guideline, however, appears high in comparison with actual cadmium concentrations.

The regulation of electroplating waste discharges of cadmium to municipal sewer systems is a matter of provincial jurisdiction in Canada, although federal guidelines have been published.

The regulations which apply in Canada at present to the cadmium concentration of wastes which are to be dumped at sea are based on obsolete criteria.

Only a very limited amount of information appears to be available on the degree of compliance which has been achieved for existing Canadian guidelines and/or regulations pertaining to cadmium pollution.

A limited ban on the use of cadmium in electroplating, pigments and plastics was announced recently by the Swedish government. Considerable difficulty has been

encountered in the administration of this ban, however, because of the vast number of commercial products which contain cadmium. This has resulted in the temporary exemption from the ban of such products imported into and manufactured in Sweden.

4. Production and Disposal of Cadmium

Almost all of the world's cadmium is produced as a byproduct of the primary smelting and refining of other metals. Most cadmium is derived from zinc smelting, but smaller amounts are available from lead and copper smelting. A very small percentage of cadmium production comes from recycling or the secondary smelting of other metals. Thus, cadmium will be produced as long as demand exists for fresh quantities of these vital base metals. Consequently, any strategies to control the release of cadmium to the environment in Canada from its commercial point of origin would be intimately related to base metal production.

The existing information on the quantities of cadmium involved in Canadian commerce is insufficient for input into any quantitative mass balance model. One substantial reason for this situation is a paucity of information on the cadmium content of imported and exported manufactured goods.

In Canada a very large, if not the largest, portion of the cadmium in manufactured goods is eventually disposed of in dumps and sanitary landfills. In this environment the rate of conversion into mobile forms of cadmium is slow, and the eventual dissipation of mobile forms of the element into proximate environmental compartments such as surrounding soil and groundcover, groundwater, and biota is very slow, provided that the disposal site is properly designed. On the basis of limited existing information, landfilling is the most environmentally acceptable disposal method for low concentrations of cadmium in bulk wastes.

Dissolved cadmium in wastewaters (at concentrations in the low parts-per-million range or less) is rapidly converted after discharge and dilution to forms of lower biological availability by interactions with suspended solids and sediments. Much of this cadmium eventually becomes buried in lacustrine or marine sediments. On the bases of investigations of biological effects at the low parts-per-million level and the standards set for dredge spoil disposal by most regulatory agencies, concentrations of cadmium in this range are thought to be environmentally acceptable in such sediments. In freshwater systems, environmental factors which are not completely understood appear to maintain an equilibrium between sedimentary and aquatic cadmium, in which the partitioning favours sediments by three orders of magnitude or more. This process works against the buildup of high localized concentrations of cadmium in surface waters.

In contrast with its immobility in soils and sediments and its limited mobility in water and suspended solids under prevailing environmental conditions, cadmium is very mobile in air. Atmospheric cadmium is removed by dustfall, rain and snow, and (to a much smaller extent) by biota; this removal is controlled in a complex fashion by meteorological conditions. As well as being more mobile in the atmosphere than in other media, cadmium has a much shorter half-life (of the order of days) in this compartment than in environmental "sinks" such as soil and buried sediments (where cadmium half-lives are of the order of decades and millennia, respectively). The combination of mobility, limited lifetime, and high loading capacity results in atmospheric cadmium being highly accessible to biota both on the short term as the result of direct exposure (inhalation by animals and deposition on plants), and over longer periods of time due to subsequent biological uptake from deposition sites such as surficial soils and water. Furthermore, airborne cadmium of industrial (thermal) origin tends to be associated with the smallest size fraction (less than about 1 μm in diameter) of suspended particulates. This form has the highest relative concentration of cadmium, is most efficiently absorbed by air-breathing organisms, and is the most widely dispersed fraction. For all of these reasons, the atmosphere is the environmental medium where cadmium is least desirable, and the emission of the element to the atmosphere should be strongly discouraged. This finding is based only upon the comparative potential for harm between atmospheric cadmium and cadmium in other environmental compartments. To give this statement some relativity, note that present levels of other atmospheric pollutants (notably, oxides of sulfur and nitrogen) are considered to be much more hazardous than those of cadmium.

Cadmium has been defined as a "stock pollutant," an expression which was coined to emphasize its infinite persistence in the environment. Because of this persistence it has been argued that contemporary risk-benefit analysis cannot be applied to the element by virtue of the difficulties associated with assessing risks in perpetuity. On the basis of the conclusions above, however, it can be observed that this argument should be applied strictly only to that portion of dissipated cadmium which persists in high concentrations in environmental compartments (such as biota, cultivated soil, fresh water, and air) in which it is least acceptable.

A wide variety of treatment methods is available for the removal of cadmium from process streams which are discharged at present by large point sources to air, water, and soil. The most elaborate and expensive technologies, however, appear to be associated with the removal of cadmium and other contaminants (notably, sulfur dioxide) from air emissions. As a consequence, the abatement of atmospheric cadmium emissions

has lagged behind the control of other types of discharges in Canada. The control of other cadmium emissions to the atmosphere from smaller point sources, such as those due to the combustion of fossil fuels, is potentially much more difficult.

5. Analytical Methods

Only a few of the analytical methods which are widely employed at present have sufficiently low limits of detection to permit the accurate determination of cadmium by direct analysis of important environmental media such as air, soil, sediments, plant and animal tissues, water and biological fluids. As a consequence, widely employed methods, such as flame atomic absorption spectroscopy, normally require concentration of the cadmium content of environmental samples prior to analysis. Such concentration frequently requires the destruction or modification of the sample matrix. Method intercomparisons and interlaboratory comparison studies have generally shown concentration/analysis methods to give poor accuracy, frequently still coupled with insufficient lower limits of detection.

Analytical methods which appear at present to have reliable detection capabilities at the background environmental concentration level (parts-per-trillion) in, for example, air and water, include graphite furnace atomic absorption spectroscopy, atomic fluorescence spectroscopy, isotope dilution spark source mass spectrometry, and differential pulsed anodic stripping voltammetry. However, they have not been widely enough employed for reliable estimates to be made of their reproducibility in different laboratories or of their dependability with a wide variety of environmental sample types. Also, the accuracy of highly sensitive methods of analysis depends upon the quality of procedures employed to isolate cadmium from other types of sample matrix, such as soil, sediments and tissues. An additional complication is that ultratrace analytical methodology frequently uncovers previously unrecognized problem areas in sample collection, blank reduction, and matrix destruction methods.

Almost all of the scientific literature which purports to supply quantitative information about cadmium in environmental samples is unsuitable for regulatory assessment purposes. It is necessary to regard the numerical data in such publications with considerable skepticism, since they are typically associated with several of the following inadequacies, each of which can add to uncertainty: improperly described and/or performed sampling; failure to determine the degree of variation due to sampling methodology, environmental conditions, sample stability, etc.; use of insensitive analytical methodology (see above); inadequate recovery studies; failure to employ acceptable

quality control; use of questionable concentration and/or matrix destruction techniques; inadequate recognition of interferences; failure to verify results by independent analytical methods; lack of participation in interlaboratory comparison studies; emphasis on precision to the detriment of accuracy; and inadequate or inappropriate use of standard reference samples. Thus, it can be concluded that insufficient attention to quality assurance aspects of the chemical analysis of environmental samples for cadmium is an even more pressing problem than the use of outdated methodology. The literature does, however, contain a small number of examples of the generation of reliable data by first-rate analysts who were obliged to use older and insensitive analytical methods, but who did so with appropriate modifications and care. (The manner in which deficiencies in analytical methods and quality assurance have been compensated for in this review is discussed in Section 3, Evaluation Criteria, and in the following section.)

6. Levels and Effects of Cadmium in Environmental Media

The application of state-of-the-art analytical methodology to the monitoring of cadmium concentrations in Canadian environmental media has been slow. As a result, reliable quantitative information on actual environmental concentrations is comparatively scarce, and is almost all very recent and limited to small geographical areas. Accordingly, it is nearly impossible at present to deduce even the direction of trends in cadmium concentrations in such environmental compartments as urban and rural air, ambient and potable water, atmospheric deposition, agricultural soils, and the human food supply, which are of importance because of their relationship to human exposure. (Trend data are available for other environmental media, however, and these are noted at the end of this section.) Furthermore, lack of information on actual background levels of cadmium hampers investigations of environmental toxicology, environmental loading capacities, transfer mechanisms between compartments, and so on.

In spite of our reservations about the quality of much existing Canadian monitoring data, we have made rough comparisons with similar data from other countries in an attempt to determine the relative severity of cadmium pollution in Canada and in other industrialized nations. Such comparisons are possible because the majority of international monitoring data has also been generated by flame atomic absorption spectroscopic methods. It cannot be overemphasized, however, that results obtained by these methods are almost invariably **above** the concentrations which have been reported for a much smaller number of similar samples analyzed by more sensitive methods. Because of the close economic and geographic ties between Canada and the United States,

and because of the availability of a large amount of American data, most of these comparisons were made with U.S. monitoring results. The tentative conclusions which we reached on the basis of these comparisons are listed below under appropriate headings. Care was taken to highlight those results which we consider to be the most reliable, where such a choice could be made.

Ambient Air. Only one two-month national survey has been made of cadmium concentrations in urban Canadian air. The results indicated a lower maximum level of contamination in the air of highly populated industrial centres in Canada (less than 75 ng/m^3) than in their U.S. counterparts (less than 730 ng/m^3) and a national median urban air concentration of less than 2 ng/m^3, which is comparable with average urban air concentrations in the United States.

Only one estimate has been made of the amount of cadmium emitted to the Canadian atmosphere by industrial and commercial sources, and recent data indicate that the estimated emissions from some of the major point sources surveyed may be in error. Primary copper and nickel producers were considered to contribute 78% of total atmospheric cadmium emissions, followed by fossil fuel combustion, which produced a further 18%. Much smaller emissions were found for lead, zinc and steel production, solid waste incineration, and a variety of other sources. The total anthropogenic cadmium emitted to the Canadian atmosphere on the above basis amounted to 57% of that in a similar estimate for the United States.

Atmospheric Deposition. Concentrations of cadmium in wet atmospheric deposition (rain and snow) appear to be significantly lower in Canada than in more highly industrialized countries. Comparisons of "average" cadmium concentrations in wet deposition would be meaningless, however, because of large differences in international sampling methodology and the preliminary nature of most Canadian data, which have been obtained incidentally from samples collected for other atmospheric pollutants. It can be tentatively concluded, however, that median concentrations of cadmium in wet deposition are comparable with those in surface waters in Canada.

Preliminary investigations of the amounts of cadmium deposited by wet atmospheric deposition in the Great Lakes basin were reported by the International Joint Commission in 1977. Deposition calculated from monitoring station data was in excess of 300 tonnes of cadmium per year; loadings predicted by a mathematical model were 164 tonnes per year. Over 90% of these loadings were attributed to American air pollution sources, and the highest deposition on Canadian territory was found immediately north of

Lake Erie and on the Niagara Peninsula. No comparable atmospheric cadmium deposition data are available for other large areas of Canada, and the extent of airborne transboundary cadmium migration in other areas of the country is unknown.

Surface Waters. Surveys of unpolluted Canadian surface waters which employ comparatively insensitive analytical methodology indicate a median cadmium concentration of about 1 ppb, with only a very small percentage of the samples giving results in excess of 5 ppb. Similar surveys in the United States have given comparable or slightly higher results. A small amount of more elaborate work with more sensitive analytical methods in Canada, the U.S.A., and Australia, however, indicates that actual median concentrations in unpolluted surface waters are in the range of 20 to 80 ppt. These research data are undoubtedly more accurate than the monitoring survey results, since several different methods have given analyses in this low ppt range. Although research in other countries has shown a seasonal variation in the cadmium concentrations of flowing surface waters, similar seasonal measurements have not yet been performed in Canada.

One important consequence of the inadequacies in monitoring for cadmium in Canadian surface waters is that satisfactory mass balance and transport calculations cannot be performed. For example, the amounts of cadmium transported to the oceans by this route (which is probably a major removal mechanism for Canadian environmental cadmium) remain unknown. Similarly, loadings to Canadian surface waters by significant aggregate point sources, such as sewage treatment plants, can only be estimated very crudely since accurate analyses of the cadmium content of sewage effluents have not been undertaken. The same situation applies in other countries.

Drinking Water. The status of Canadian potable water monitoring is analogous to that for surface waters: surveys using older analytical methods indicated average concentrations at or below 1-10 ppb, whereas recent surveys have found a median concentration in the low tens of parts-per-trillion. The latter surveys were conducted by Health and Welfare Canada with highly sensitive analytical methodology under conditions of good quality control, and they included samples from public water supplies which serve 63% of the Canadian population. The overall ranges of cadmium concentrations found in potable water were from <10 to 490 ppt in the first survey and from <10 to 120 ppt in the second. Unfortunately, so-called drinking water surveys almost invariably sample water at the treatment plant or from the distribution system rather than from consumers' taps, and studies in the United States and Europe have found instances of cadmium contamination by distribution lines and household plumbing. It seems unlikely, however, that the average

cadmium concentration of Canadian drinking water at the tap could be much in excess of 25 ppt, since the reported incidence of such contamination in other countries has been low.

Sediments. Contaminated sediments in Canada in the vicinity of zinc smelters contain several hundred ppm of cadmium – levels comparable to the highest found in other polluted areas of the world. On the other hand, cadmium concentrations in sedimentation basins in the Canadian Great Lakes rarely exceed 10 ppm. (Some Lake Michigan sediments have been found to have a slightly higher cadmium content.) Stream sediments have not been studied extensively for their cadmium content in uncontaminated areas of Canada or the United States (although extensive stream sediment surveys have been performed in Britain). Preliminary indications are that the limits of detection of the methods now in general use (ca. 1 ppm) are higher than the cadmium concentrations in these uncontaminated sediments. In general, the cadmium concentration of a given sediment is at least a thousand times greater than that in the lake or stream water above it.

Soil. Cadmium concentrations in contaminated Canadian soils in the vicinity of primary zinc smelters appear, on the basis of limited survey data, to be significantly lower than those in comparable regions of the United States. This is probably due to the much higher levels of air pollution associated with the pyrometallurgical refineries still in operation in the U.S.A., as opposed to the electrochemical refineries in Canada. Soil contamination by cadmium also occurs, although to a much smaller extent in terms of the areas affected, in the immediate vicinity of some secondary metal smelters in Canada.

Cadmium concentrations in uncontaminated Canadian soils fall in the lower region of the range (approximately 10-700 ppb) generally associated with such soils in other areas of the world. These are "total" cadmium concentrations; the amount of cadmium which is available for uptake by plants is normally much less than the "total" cadmium content. A recent national survey of Canadian agricultural soils found a median concentration of <300 ppb. Other surveys of smaller geographical areas of Canada which employed less rigorous quality control have found average concentrations of approximately 600 ppb, with an overall range of approximately 100 ppb to 8.1 ppm. The highest values in this range were associated with loam soils which had been treated with sewage sludge. Since recent surveys which employed ultratrace analytical methodology in Australia have found agricultural soil concentrations of <10 ppb, cadmium concentrations in uncontaminated Canadian soils may be substantially lower than 300 ppb.

Biota. Very few comprehensive surveys have been performed on the concentrations of cadmium in environmental biota in Canada or elsewhere. In general, toxicological information on the chronic effects of environmental concentrations of cadmium in biota is rare except for agricultural crops and aquatic organisms. The limited available data indicate that, with very few exceptions, levels in Canadian biota are comparable to or lower than those in other countries.

Sewage Sludge. The cadmium concentration range of domestic sewage sludges, which are of substantial interest because of their increasing use for agricultural purposes, is generally lower than in the United States. The overall reported range in Canada is 0.3 to 236 ppm, in comparison with 0.1 to 3650 ppm in the U.S.A. Canadian sewage sludges contain approximately the same concentrations of cadmium as those in European countries where cadmium releases to municipal wastewaters are strictly controlled.

In general, on the basis of the above limited observations, it can be concluded tentatively that present concentrations of cadmium in the aquatic and terrestrial compartments of the Canadian environment are probably among the lowest of those in industrialized nations. Cadmium emissions to the atmosphere, however, are apparently higher than average on a comparative population basis, and this is of concern since Canadian emissions would normally be expected to be about 10% of those in the United States on this basis. (This is not intended to imply that comparative population statistics are invariably valid, since there are several ways in which this apparent discrepancy can be rationalized. We have employed this method of comparison here only for illustrative purposes.) It must be reiterated, however, that these generalizations are supported by environmental measurements which are semiquantitative at best.

Although cadmium is persistent, toxic, widely dispersed, and is bioaccumulated, it is not "biomagnified" (i.e., increasingly concentrated at higher trophic levels) to a significant extent in food chains at the concentrations which are normally found in unpolluted Canadian environmental media. These ambient concentrations are also too low to cause irreversible damage to the most sensitive biota which have been identified to date. Cadmium bioaccumulation can, however, lead to much higher than average concentration levels in specific tissues of biota in the vicinity of major pollution sources. Unfortunately, the corresponding environmental concentrations near Canadian pollution sources are rarely determined accurately at times that biota are collected, so that it is impossible to state whether or not these environmental levels exceed accepted threshold values. In the few cases where actual tissue cadmium levels attained in toxicological

laboratory studies have been determined as a function of applied doses, however, the tissue levels associated with chronic toxic effects have been substantially greater than those which have been found in any contaminated area in Canada. Because of the scarcity of this type of data, it cannot be stated with certainty that all biota in the vicinity of contamination sources are safe. Much more effort is required to determine "critical" concentration levels in specific tissues of a wide range of representative biota so that the toxicological significance of "elevated" cadmium tissue concentrations can be determined.

Because of its potential threat to the human food supply, the cadmium content of agricultural soil has been a matter of much recent concern, particularly where it is augmented by agricultural practices such as the use of sewage sludges for their fertilizing and soil conditioning benefits. Cadmium is tightly retained by most soils, and the content of a soil is only one of many factors which influence the cadmium concentrations of crops. In agricultural crops, however, concentrations of cadmium which would be sufficient to cause substantial increases in the human body burden over long periods of time are lower than those at which phytotoxicity due to the element has been observed. For this reason, it is very important to discourage any improper agricultural practices which could lead to increased cadmium uptake by food crops. (Such practices include the indiscriminate use of sewage sludges of high or unknown cadmium content, the unintentional addition of cadmium in any form in agricultural chemicals to acidic or highly mineralized soils, improper crop selection for soils with high cadmium concentrations, etc.) Under conditions of proper agricultural management, which are believed to prevail generally in Canada, measurable increases in the cadmium content of domestic food crops because of the utilization of sewage sludges, phosphate fertilizers, etc., must be regarded as highly improbable.

For reasons that are not completely understood, but which probably include its growth on acidic soils, the cadmium concentration of Canadian tobacco appears to be substantially higher than that in many other countries. This may have a significant impact on cadmium body burdens in Canadian smokers.

Most of the available information on existing levels of cadmium in the Canadian environment is static by nature, whereas only information on rates of change of cadmium concentrations in different environmental compartments and on the relationships between these rates can properly be employed in assessments of the likelihood of future danger to human health or the environment. Thus, although present environmental concentrations appear to be generally lower than known chronic toxicity thresholds and although the cadmium levels in many environmental media are subject to biogeochemical

control mechanisms, reliable calculations of anticipated environmental concentrations are not possible at this time.

In instances in which reliable information is available on the rate of change of environmental cadmium concentrations (such as that from sediment cores), it is evident that significant increases have occurred because of man's industrial activity. A smaller amount of evidence from Scandinavia also indicates that tissue cadmium levels have increased in biota during the present century. The upward trend in wheat, human renal cortex, and certain wildlife tissues appears to be approximately 1-2% per year. An upward trend has also been found in cadmium concentrations in tree leaves collected over several decades in Toronto.

It is a matter of concern that the trend of increased environmental cadmium concentrations (as evidenced by sediment cores) has continued in spite of a recent decrease in the global rate of commercial utilization of the element and its compounds. It is not known whether this phenomenon is due to commercial activities indirectly related to cadmium use (such as the smelting of other metals, fossil fuel combustion and soil fertilization), or to a lag time between the commercial utilization of cadmium and its entry into the environment by way of waste disposal pathways.

7. Human Exposure to Cadmium

Three sources (food, tobacco smoke and occupational exposure) account for almost all of the cadmium to which the Canadian population is exposed. Although ambient air and drinking water have been included as significant sources in exposure analyses for other countries, surveys of Canadian municipal potable water supplies and urban air indicate that the combined effect of these two sources on the population at large is the intake of less than 50 ng of cadmium per person per day. Several other sources of cadmium may be important to very small populations or age groups but not to the overall population. The most important of these is probably the inhalation of airborne cadmium in the vicinity of commercial point sources such as smelters, municipal incinerators and alloy factories, but there are few data available in Canada which bear on this possibility. A variety of other types of infrequent cadmium exposure for a few people could include: food contamination due to contact with electroplated or glazed ceramic utensils; inhalation of contaminated household dust; cadmium ingestion from certain dental products; or exposure associated with hobbies such as pottery making, metal working, or painting. Again, no specific information is available for Canadian exposure of these kinds.

Published information on the amount of cadmium in the Canadian diet is limited mainly to "total diet" studies which were performed in four major centres several years ago by Health and Welfare Canada. In these surveys, locally purchased foods were prepared by normal household practices as if for consumption, and composites of twelve different classes of food so prepared were analyzed for their cadmium contents at quarterly intervals for one year. Since the per capita amount of each of these food classes which is available for retail sale is compiled each year by Statistics Canada, it is possible to estimate the cadmium content of an "average" or "composite" daily Canadian diet. One study was carried out in each of the years 1969 through 1972. The average cadmium contents of the daily composite diets reported for these years were 80, 67, 67 and 52 µg/person/day, respectively.

These data should be regarded as indicative, rather than as definitive, of the actual amount of cadmium in the diet of an average Canadian for several reasons. First, there is no evidence given in the publications on these studies that particular care was taken with intralaboratory quality control; in particular, no samples from the first study were reanalyzed in each subsequent study. Thus, the apparent decreases in dietary cadmium during the period of this work may be more representative of improved use of the analytical method as a function of time than of real changes in dietary cadmium content as a function of location or sampling year. Second, the statistics employed to calculate the composite diet are based on sales of food, rather than on actual consumption, and thus do not compensate for wasted or uneaten food. Third, the food disappearance statistics vary moderately from year to year but a constant composite diet was employed for the four study years. Fourth, the analytical methodology employed was comparatively insensitive, and an unstated percentage of the results obtained merely reflected the detection limits. Such results were defined as equal to one-half of the limit of detection for each food class, however, so that the calculated "averages" are biased to an unknown extent. Another consequence of the use of insensitive methodology is that most of the remaining analytical results are accurate (at best) to only one significant figure. This also introduces large uncertainties in the subsequent calculations of the cadmium content of the composite diet. Fifth, cadmium recovery studies (at concentrations substantially in excess of the mean concentrations found) strongly suggest that significant amounts of the element were lost in the analytical method which was employed. Sixth, the results obtained are higher than those from similar studies in the United States, a finding which is difficult to reconcile with the facts that the U.S. studies were based on a higher per capita food consumption and that a significant portion of the

Canadian diet is imported from the U.S.A. Finally (but by no means least importantly), "average" estimates such as the above undoubtedly underestimate actual cadmium intakes for those unknown portions of the total population who consume higher-than-average quantities of all foods or of foods which are intrinsically higher in their cadmium content. Such foods include fruits and vegetables, so that vegetarians, for example, would be expected to ingest above average amounts of dietary cadmium. Other foods, which are fortunately not a substantial portion of common diets, contain much higher-than-average concentrations of cadmium. These include liver, kidney, and oysters. Lobster tomalley and lobster paste appear to be the food items which have the highest intrinsic cadmium contents. These products may contain cadmium concentrations which are three to four orders of magnitude larger than those in "average" foods.

Recently, it was also reported that the cadmium content of Canadian infants' diets may be sufficiently high to lead to the ingestion of substantially more than 1 µg of cadmium per kg of body weight per day during the early months of life. (As was noted earlier, the FAO/WHO guideline is equivalent to the ingestion of about 1 µg/kg of body weight per day for a "standard" 70-kg man.) In another investigation, cadmium analysis of actual meals selected in a Canadian university cafeteria indicated an average daily cadmium intake of 73 µg/person. The description of the analytical methodology in this report is insufficient to assess the reliability of the results.

One final point of relevance is that recently reported analytical investigations of human feces in other countries have found significantly lower cadmium concentrations than would be predicted on the bases of estimated dietary contents and cadmium absorption studies. These findings strongly imply that statistical and analytical difficulties lead to overestimation of cadmium ingestion by "total diet" or "market basket" types of surveys. Unfortunately, such comparisons have not yet been performed in Canada.

On the basis of all of the above factors, it is clearly very difficult to draw a rigorous conclusion on actual levels of cadmium in the Canadian diet or on the significance of these levels in terms of the FAO/WHO provisional guideline of 400-500 µg/person/week.

Reliable data on the cadmium content of Canadian cigarette smoke, and hence on the ingestion and absorption of the element from this source, are unavailable. Mathematical models, however, predict that approximately 200 cigarettes would have to be smoked per day for 50 years in order to reach the "critical" renal cortex concentration of 200 ppm (fresh weight basis) if this were the only cadmium source for an individual. On the basis of analytical data on the cadmium content of Canadian tobacco, it has been

estimated that heavy smokers (ca. 40 cigarettes per day) may absorb and retain as much cadmium from cigarettes as they do from food. The only numerical Canadian data which have a bearing on this question are derived from a study of cadmium concentrations in the kidneys of small groups of smokers (31 individuals) and non-smokers (30 individuals). Mean cadmium concentrations in the tissues from smokers were two to three times higher than those in the non-smokers. A simple dose-response relationship was not observed, however, since the levels in heavy smokers were comparable with those in light and moderate smokers. The calculated mean wet weight renal cortex cadmium concentrations were 58 and 25 ppm for smokers and non-smokers, respectively; corresponding median values were 57 and 20 ppm, respectively; and the corresponding ranges were 14-120 and 7-71 ppm, respectively. The mean age of the smokers (49) was reasonably close to that of the non-smokers (56 years) in this investigation. Thus, smokers appear to be voluntarily risking approximately two to three times the cadmium exposure level of the nonsmoking population.

On the basis of the above human tissue analysis results, together with those noted earlier, it is evident that renal cortex cadmium concentrations in Canadians (who absorb cadmium from food, ambient air, drinking water, tobacco smoke, and from miscellaneous sources other than industrial exposure) are substantially below the "critical" fresh weight concentration of 200 ppm at age 50. Thus, although the available data are not as copious as might be desired, there is no evidence that a significant danger exists from cadmium exposure to Canadians who do not have occupational contact with the element and its compounds.

The degree and extent of industrial exposure to cadmium in Canada are not well documented. Workers who are exposed to cadmium metal fumes generated in operations such as the smelting of zinc ore concentrate, cadmium alloy manufacture, and specialized welding operations, however, would normally be expected to have a higher body burden of the element than those exposed to an equivalent concentration of cadmium-containing dusts originating, for example, in pigment manufacture and use because of the higher absorption of fumes. Much lower risk of cadmium absorption is associated with occupations such as electroplating, in which cadmium is not released into workplace air in appreciable concentrations.

Thus, the small proportion of the Canadian population which is comprised of smokers with long-term industrial exposure to cadmium fumes has the greatest risk of developing cadmium-related disease. Actual tissue levels of cadmium in such individuals have not yet been reported, however, so that a quantitative assessment of this risk cannot be made at present.

8. Biochemistry and Metabolism of Cadmium

Cadmium is not considered to be an essential element in the normal metabolic processes of man or animals.

Inhalation and ingestion are the main routes of entry of cadmium. The absorption rate of soluble cadmium compounds via inhalation in man is estimated at 25%, while cadmium fumes may have an absorption of 50%. Absorption efficiency via the gastrointestinal tract is of the order of 3 to 6% in man; thus, approximately 95% of orally ingested cadmium is eliminated in the feces.

Animal studies indicate that, immediately after exposure, cadmium stays mainly in the blood plasma and is then later concentrated predominantly in the liver and kidney. Cadmium is complexed with a low molecular weight protein termed metallothionein and the kidney cortex is the main storage site for cadmium from long-term, low level exposure. One-third of the long-term body burden is found in the kidney. The biological half-life of cadmium in the renal cortex is estimated to be as long as 18 to 38 years.

Biological indicators of cadmium exposure include urinary cadmium and blood cadmium concentrations. A wide variation exists in concentrations of cadmium in biological fluids and organs of similarly exposed individuals. Routes of elimination for absorbed cadmium are in the urine, hair, nails and bile, with bile and urine being considered the principal routes of excretion.

The cadmium-to-zinc ratio may be as important as the absolute amount of either metal. The attenuation of cadmium toxicity by zinc or sulfhydryl compounds is related to reactions at the enzyme level. The nutritional status of experimental animals is important when measuring the expressed toxicities of cadmium.

9. Toxicity of Cadmium to Humans

The lungs and kidneys are the critical organs in acute inhalation and chronic ingestion exposures, respectively.

Acute inhalation toxicity is usually caused by metallic cadmium fumes or cadmium-containing dusts. An irritation of the upper respiratory tract occurs and this is followed by cough, chest pains, sweating and chills. Dyspnea and pulmonary oedema may develop, followed by death in the most severely exposed cases. Those health effects occur mainly in occupational settings as a result of brief exposures to high concentrations of airborne cadmium.

For chronic health effects, the two principal pathological lesions associated with cadmium are pulmonary emphysema and renal tubular damage. The first lesion appears to be directly related to the inhalation route as in occupational settings. Renal tubular damage is the best identified chronic health effect of cadmium exposure. Renal dysfunction is probably irreversible and is signalled by proteinuria and this, in turn, is indexed by levels of beta-2-microglobulin and retinol binding protein excretion. As cadmium accumulates in the renal cortex, it inhibits tubular reabsorption resulting in an increased beta-2-microglobulinuria and a more general proteinuria. Much recent clinical and epidemiological work on cadmium's nephrotoxicity has involved the monitoring of beta-2-microglobulin levels in urine.

Chronic cadmium toxicity is sometimes seen after prolonged occupational exposure to a variety of soluble cadmium compounds. A chronic bronchitis followed by emphysema is the course of this occupational disease, which may be more severe due to increased cadmium tissue levels caused by heavy smoking by some workers. Systemic changes include kidney damage with anemia, proteinuria and an elevated sedimentation rate. Aminoaciduria, glucosuria and the formation of renal calculi are also seen in chronically exposed workers.

Concern has been voiced on the carcinogenic potential of cadmium as an environmental threat to man. No direct evidence relating cadmium exposure and cancer in humans has been found. Some epidemiological studies of small numbers of occupationally-exposed workers suggest possible relationships between cadmium exposure and cancers of the prostate and the respiratory tract. The evidence for cadmium being carcinogenic, even at high exposure levels, is far from unequivocal and the available evidence is generally regarded as inconclusive.

Further epidemiological studies have investigated Itai-itai ("ouch-ouch") disease in cadmium-polluted areas of Japan and the possible relationship of cadmium exposure to hypertension. Itai-itai disease is characterized as an endemic bone disease which is associated with an accumulation of cadmium in tissues and a weakening of bone because of calcium loss. The presence of osteomalacia in cadmium-exposed workers and the occurrence of renal tubular problems among Itai-itai patients and persons exposed to cadmium implies that cadmium has been an essential factor in the progression of this bone disease. Studies on the possible relation of cadmium to hypertension suggest that humans with essential hypertension may have a greater amount of cadmium and a higher cadmium-to-zinc ratio in their kidneys than normotensive people. However, epidemiological studies of workers exposed to cadmium do not show cadmium as being a significant factor in hypertension.

Very few studies have been published on the teratogenicity of cadmium in humans and no conclusions can be drawn in this area.

A few mutagenicity studies have been published which deal with the exposure of man to cadmium. These were principally chromosome aberration investigations and further work, preferably using standardized methods, will be required before any trends can be noted or valid conclusions drawn.

Toxicological investigations of the effects of cadmium exposure on animals have found fetal abnormalities, anemia, hypertension, altered bone and mineral metabolism, and pancreatic effects. A large number of investigations of the interactions of cadmium with other heavy metals and elements have found that the highest frequency of synergistic effects involves lead. Other studies demonstrated that the metabolism of several essential elements, such as zinc, iron, selenium and copper, can be modified by exposure to cadmium.

APPENDIX 2 - BIBLIOGRAPHY

Readers who may wish to consult general published information on cadmium are referred to the publications listed in chronological order below. References to more specialized reviews on some of the specific topics which are summarized in this report can also be made available on request (to Health and Welfare Canada for health-related information, or to Environment Canada for environmental topics). Access to our collection of scientific documents, data tabulations, working notes, and other background information can also be arranged by communication with the appropriate department.

D.M. Chizhikov, "Cadmium," D.E. Hayler, Transl., Pergamon Press, Toronto, 1966.

R. Nilsson, "Aspects on the Toxicity of Cadmium and its Compounds," Ecological Research Committee Bulletin No. 7, Swedish Natural Science Research Council, Stockholm, Sweden, 1970.

L. Friberg, M. Piscator, and G. Nordberg, "Cadmium in the Environment," CRC Press, Cleveland, 1971.

"Cadmium: The Dissipated Element," W. Fulkerson and H.E. Goeller, Eds., Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1973.

M. Fleischer, A.F. Sarofim, D.W. Fassett, P. Hammond, H.T. Shacklette, I.C.T. Nisbet, and S. Epstein, Environmental Impact of Cadmium: A Review by the Panel on Hazardous Trace Substances, Environmental Health Perspectives, Exp. Issue No. 7, May 1974, pp. 253-323.

L. Friberg, M. Piscator, G.F. Nordberg, and T. Kjellstrom, "Cadmium in the Environment," 2nd ed., CRC Press, Cleveland, 1974.

"Cadmium and the Environment: Toxicity, Economy, Control", Environment Directorate, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, 1975.

L. Friberg, T. Kjellstrom, G. Nordberg, and M. Piscator, "Cadmium in the Environment -- III. A Toxicological and Epidemiological Appraisal," U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C., 1975. Issued as EPA-650/2-75-049.

"Scientific and Technical Assessment Report on Cadmium," U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C. 20460, 1975. Issued as EPA-600/6-75-003.

World Health Organization, "IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man," Vol. 11, International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1976, pp. 39-74.

A.S. Hammons, J.E. Huff, H.M. Braunstein, J.S. Drury, C.R. Shriner, E.B. Lewis, B.L. Whitfield, and L.E. Towill, "Reviews on the Environmental Effects of Pollutants: IV. Cadmium," Department of Energy, Washington, D.C., and U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio 45268, 1978. Issued as EPA-600/1-78-026.

H. Babich and G. Stotzky, Effects of Cadmium on the Biota: Influence of Environmental Factors, in: Advances in Applied Microbiology, Volume 23, D. Perlman, Ed., Academic Press, New York, N.Y. 10003, 1978, pp. 55-117.

Commission of the European Communities, "Criteria (Dose/Effect Relationships) for Cadmium," Pergamon Press, Toronto, 1978.

"Effects of Cadmium in the Canadian Environment," Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, National Research Council of Canada, Ottawa, 1979. Issued as NRCC No. 16743.

"The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadmium," M. Webb, Ed., Elsevier, New York, 1979.

"Cadmium in the Environment. Part I: Ecological Cycling," J.O. Nriagu, Ed., Wiley-Interscience, Toronto, 1980.

"Cadmium in the Environment and its Significance to Man," Pollution Paper No. 17, Department of the Environment, London, England, 1980.

"Cadmium Pollution. A Report on the Use, Occurrence and Harmful Effects of Cadmium in Denmark," Environment Directorate, Ministry of the Environment, Copenhagen, Denmark, 1980. (In Danish, with English summary and captions.)

P. de Voogt, B. van Hattam, J.F. Feenstra, and J.W. Copius Peereboom, Exposure and Health Effects of Cadmium. Part I. Cadmium in the Environment, Exposure to Cadmium, Tox. Environ. Chem. Rev., 3, 89-109 (1980).

U. Forstner, Cadmium, in: The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 3, Part A, Anthropogenic Compounds, O. Hutzinger, Ed., Springer-Verlag, New York, N.Y., 1980, pp. 59-107.

"Cadmium in the Environment. Part II: Health Effects," J.O. Nriagu, Ed., Wiley-Interscience, Toronto, 1981.

J.W. Copius Peereboom and J.H.J. Copius Peereboom-Stegeman, Exposure and Health Effects of Cadmium. Part 2. Toxic Effects of Cadmium to Animals and Man, Tox. Environ. Chem. Rev., 4, 67-178 (1981).

M.L. Pool, Exposure and Health Effects of Cadmium. Part 3. Effects of Cadmium on Enzyme Activities, Tox. Environ. Chem. Rev., 4, 179-203 (1981).

"Cadmium and its Compounds: Health Impact of Production and Usage in the Workplace," Hatch Associates Ltd., Toronto, 1981. (Prepared under contract to the Ontario Ministry Labour.)

"Health Assessment Document for Cadmium," U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Research Triangle Park, N.C., 1981. Issued as EPA-600/8-81-023.

M. Hutton, "Cadmium in the European Community: A Prospective Assessment of Sources, Human Exposure and Environmental Impact," MARC Report No. 26, Monitoring and Assessment Research Centre, Chelsea College, University of London, England, 1982.

"Updated Mutagenicity and Carcinogenicity Assessment of Cadmium," (External Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency, 1983. Issued as EPA-600/8-83-025.

Santé et Bien-être social Canada
Environnement Canada

Health and Welfare Canada
Environment Canada

LOI SUR LES CONTAMINANTS DE L'ENVIRONNEMENT

Rapport d'évaluation des dangers potentiels du cadmium

Canada

83-DHM-101
SPE 3-EP-83-9

Décembre 1983

SÉRIE DE RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les rapports d'analyse économique et technique portent sur les revues de l'état des connaissances, les relèves de bibliothèques, les inventaires industriels ainsi que leurs recommandations connexes dans les cas où celles-ci n'impliquent aucune recherche expérimentale. Ces analyses sont entreprises, soit par un organisme extérieur, soit par le personnel du Service de la protection de l'environnement.

Les autres catégories de la série de rapports du S.P.E. comprennent les groupes suivants: règlements, codes et accords; politique et planification; développement technologique; surveillance; guides de formation; rapports et exposés à des enquêtes publiques et impacts environnementaux.

Les demandes relatives aux rapports du Service de la protection de l'environnement doivent être adressées au Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, Ontario, K1A 1C8, Canada.

Loi sur les contaminants de l'environnement

Rapport d'évaluation des dangers potentiels du cadmium

Édition française de
Environmental Contaminants Act: Hazard Assessment Report on Cadmium
préparée par le Module d'édition française
d'Environnement Canada

Numéro de catalogue: En 48-3/83-9F
ISBN 0-662-92435-5

•

Ministre des Approvisionnements et Services Canada
1983

PRÉFACE

Le cadmium et ses composés ont été étudiés dans le cadre des Programmes des contaminants de l'environnement du ministère de l'Environnement et du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social pour déterminer si la libération de ces substances au cours de leur production, traitement, utilisation ou élimination comporte un danger significatif, actuel ou futur, pour la santé des Canadiens ou l'environnement.

Nous évaluons dans ce rapport s'il y a lieu d'invoquer la Loi sur les contaminants de l'environnement pour contrôler les émissions de cadmium et de ses composés. Ce rapport présente nos appréciations. Il donne en plus une brève description de la portée de nos recherches et un résumé des données sur lesquelles nos conclusions sont basées. Deux annexes donnent un aperçu des constatations générales tirées d'une étude approfondie de la documentation publiée et non publiée sur le cadmium et une bibliographie des sources d'information sur les effets du cadmium sur la santé et l'environnement. Vu l'abondance d'informations disponibles sur le cadmium, il nous est impossible de citer ou de discuter tous les travaux consultés dans un rapport si bref (consulter cependant l'Annexe 2).

Les principaux chercheurs ayant travaillé à cette étude sont MM. John R. Harrison et James W.S. Jamieson, du Bureau des dangers des produits chimiques (Santé nationale et Bien-être social Canada), et Donald J. MacGregor, de la Direction des contaminants de l'environnement, principal auteur de ce rapport.

À l'exception du cadmium présent dans l'atmosphère dont les teneurs sont indiquées en masse de cadmium par volume d'air (par exemple 17 $\mu g/m^3$), les teneurs sont exprimées en parties par billion (p.p. 10^{12}), parties par milliard (p.p. 10^9) et parties par million (p. p. 10^6). Pour les liquides, les teneurs indiquent la masse de cadmium par unité de volume de liquide (par exemple : une partie par milliard = une partie de cadmium en poids dans 10^9 parties de liquide en volume = 1 $\mu g/l$ = 1 ng/ml, etc.); pour les solides, elles indiquent la masse de cadmium par unité de masse de l'échantillon. Sauf indication contraire, les teneurs en cadmium dans les solides sont basées sur le poids des échantillons séchés à l'étuve.

RÉSUMÉ

Les effets néfastes du cadmium et de ses composés pour l'homme ou l'environnement ont fait l'objet d'études minutieuses et de réglementation tant au niveau national qu'international. Il est question dans ce rapport d'une étude menée conjointement par le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social et le ministère de l'Environnement dans le cadre du paragraphe 3(3) de la Loi sur les contaminants de l'environnement. Cette étude visait à déterminer si les activités reliées à la production et l'utilisation du cadmium et de ses composés, au Canada, présentaient un danger significatif pour l'homme ou l'environnement. L'évaluation des dangers potentiels du cadmium comportait, entre autres, une étude rigoureuse de la récente documentation publiée ou non sur tout ce qui touche le cadmium et ses composés et la comparaison des teneurs actuelles en cadmium dans une variété de milieux, de biotes et chez les humains aux teneurs représentatives d'un danger significatif. En se fiant à la meilleure information disponible, le cadmium ne semble pas présenter de danger potentiel significatif qui puisse actuellement justifier la mise en vigueur de règlements restrictifs à l'échelle nationale, en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement. On souligne cependant que cette décision n'exclut pas le recours dans le futur à ladite loi pour le contrôle du cadmium, en particulier pour les problèmes de pollution locale à proximité de sources importantes de rejet. Il est également précisé que cette décision n'élimine pas pour autant la nécessité des programmes actuels de contrôle appliqués dans le cadre d'autres lois, ou l'adoption de mesures judicieuses pour minimiser les rejets de cadmium.

ABSTRACT

The adverse environmental and human health effects of cadmium and its compounds have been subjected to intensive national and international scrutiny and regulatory activity during recent decades. This report describes an investigation, carried out jointly by the Department of National Health and Welfare and the Department of the Environment, under the authority of Subsection 3(3) of the Environmental Contaminants Act. The purpose of this study was to determine whether activities related to the production and use of cadmium and its compounds in Canada represent a significant danger to human health or the environment. The methodology employed in this assessment of hazard included a critical review of recent published and unpublished information and a comparison of the existing concentrations of cadmium in a variety of environmental media, biota, and humans with those concentrations representative of significant danger. On the basis of the best available information, there is insufficient evidence of hazard to justify the implementation of national regulatory control action pursuant to the Environmental Contaminants Act at this time. It is emphasized, however, that this determination does not preclude the future use of the Environmental Contaminants Act for the control of cadmium, particularly for local pollution problems in the vicinity of large discharge sources; nor does it diminish the need for existing control programs associated with other statutes, or for prudent measures to minimize releases of cadmium.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1	Loi sur les contaminants de l'environnement	1
Chapitre 2	Portée de la recherche sur le cadmium	3
Chapitre 3	Critères d'évaluation	4
Chapitre 4	Évaluation des dangers et conclusions	6
4.1	Toxicité et exposition	6
4.2	Persistance du cadmium dans l'environnement et teneurs en cadmium dans l'environnement	8
4.3	Production, utilisations et élimination du cadmium	11
4.4	Conclusion	13
Annexe I	Résumé des constatations	17
Annexe II	Bibliographie	33

Chapitre 1
LOI SUR LES CONTAMINANTS DE L'ENVIRONNEMENT

La Loi sur les contaminants de l'environnement (Gazette du Canada, partie III, volume 1, n° 12, 1975) est une loi au pouvoir étendu qui vise à protéger les Canadiens et l'environnement des substances qui contaminent ce dernier et qui peuvent leur être préjudiciables. Une des caractéristiques de cette Loi est qu'elle encourage les deux Ministres et leur ministère respectif à étudier le problème de la pollution de l'environnement par les contaminants sous l'angle d'un écosystème, plutôt qu'en fonction d'un milieu ou d'un emplacement particulier comme cela est le cas avec d'autres lois comme la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique et la Loi sur les pêcheries ou les lois visant certains produits comme la Loi sur les aliments et drogues et la Loi sur les produits dangereux.

Le paragraphe 3(3) de cette loi autorise le ministre de l'Environnement ou le ministre de la Santé nationale et du Bien-être social à recueillir des données et à faire les enquêtes nécessaires s'ils soupçonnent "qu'une substance pénètre ou est susceptible de pénétrer dans l'environnement en une quantité ou une concentration ou dans des conditions telles qu'elle peut mettre en danger la santé ou l'environnement". Le même paragraphe autorise également les Ministres à mettre en corrélation les données recueillies, à les analyser, à en publier les résultats. Le présent rapport sur le cadmium et ses composés a été publié dans le cadre des attributions de cette loi.

Les recherches faites dans le cadre de la Loi sur les contaminants de l'environnement ne peuvent entraîner la mise en vigueur de règlements restrictifs en vertu de la loi que si les Ministres sont convaincus, après consultation avec d'autres ministères fédéraux et les provinces, que le danger pour l'environnement ou la santé ne sera pas éliminé en application de quelqu'autre loi. Par exemple, les règlements sur l'emploi des propulseurs à base d'hydrocarbures chlorofluorés n'ont été mis en vigueur (Gazette du Canada, partie II, 27 mai 1981) qu'après qu'il ait été établi que ni la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique, ni la Loi sur les produits dangereux ne pouvaient adéquatement éviter la détérioration de la couche d'ozone. Advenant la décision d'invoquer la Loi sur les contaminants de l'environnement, la substance ou classe de substances est ajoutée à l'annexe de la loi. Les substances inscrites dans cette annexe peuvent faire l'objet de réglementation touchant les quantités rejetées au-delà d'une quantité ou teneur maximum spécifiée, au cours d'activités reliées à la commercialisation, la fabrication ou le traitement, l'emploi ou la vente de la substance, ou l'importation, la fabrication ou la vente de tout produit qui renferme la substance en cause dans une quantité ou teneur excédant un maximum prescrit. Le pouvoir d'utiliser la Loi sur les contaminants de l'environnement pour virtuellement bannir une substance ou une classe de substances du commerce canadien est compensé par les processus de consultation mentionnés plus haut; un délai pour l'étude des règlements proposés; la mise sur pied d'un Comité d'étude dûment mandaté, en cas d'objections aux règlements proposés; et l'étude de l'analyse de l'impact socio-économique exigée par le gouvernement fédéral pour tout règlement dont l'impact excède dix millions de dollars.

Il importe par conséquent de remarquer qu'une décision de ne pas réglementer une substance ou une classe de substances du commerce canadien est compensé par les processus ne signifie aucunement que des règlements publiés en vertu de toute autre loi du Parlement ou de toute autre loi provinciale ne sont pas nécessaires. À vrai dire, les études entreprises en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement peuvent en partie servir de base à l'activité de réglementation d'autres organismes gouvernementaux. De plus, si le grand nombre de contaminants potentiels sur le marché a limité les activités en cours dans le cadre de ladite Loi à des

substances potentiellement dangereuses pour la santé de tous les Canadiens ou pour l'environnement canadien en général, il reste que cette loi pourrait être invoquée à l'avenir pour protéger la population d'une région bien définie ou des emplacements géographiques déterminés.

Les mesures prises en vertu des obligations imposées par la Loi sur les contaminants de l'environnement englobent l'élaboration d'une Liste de produits chimiques d'intérêt prioritaire (Gazette du Canada, partie I, 20 mai 1978). Dans cette liste, les produits chimiques visés sont divisés en trois catégories selon l'état d'avancement de l'élaboration des règlements, ou le degré de préoccupation qu'ils suscitent et le type de recherches requis pour trancher la question de réglementation. Les produits chimiques classés dans la catégorie I sont "les substances qui figurent à l'annexe de la loi et pour lesquelles on est en train de formuler de nouveaux règlements ou des stratégies spéciales". La catégorie II comprend "les substances qui font l'objet d'études visant à identifier et à mesurer les risques qu'elles posent pour la santé ou l'environnement et à déterminer les moyens appropriés de réduire ces risques". La catégorie III comprend "les substances qui peuvent constituer un danger réel pour la santé ou l'environnement et sur lesquelles des études ou des données plus détaillées sont nécessaires (par exemple, sur leur toxicité, les quantités utilisées ou les concentrations dans l'environnement)". (Gazette du Canada, partie I, 16 janvier 1982.)

La Liste des produits chimiques d'intérêt prioritaire publiée périodiquement est une liste courante sujette à modification et révision à la lumière de découvertes ou de faits nouveaux; ainsi, le cadmium, classé dans la catégorie III en 1978, a été reclassé dans la catégorie II en 1979 (Gazette du Canada, partie I, 1er décembre 1979). La nature et la portée des recherches sur le cadmium et ses composés, suite à leur reclassification en catégorie II, sont décrites dans le chapitre deux.

Chapitre 2
PORTÉE DE LA RECHERCHE SUR LE CADMIUM

Pour mener à bien cette étude conjointe sur le cadmium et ses composés, il a fallu :

1. Étudier l'information publiée et non publiée sur tout ce qui touche le cadmium dans l'environnement (voir ci-dessous) et élaborer des méthodes pour identifier, acquérir, entreposer, évaluer et décrire les documents appropriés. Approximativement 5000 documents et notamment des livres, articles de revues, comptes rendus de conférences, compilations de données et ouvrages de recherches, produits principalement après 1975, ont été étudiés par les deux ministères.
2. Étudier les propriétés chimiques et physiques du cadmium et de ses plus importants composés et particulièrement les propriétés qui influencent l'analyse chimique, la distribution dans l'environnement, l'utilisation industrielle et la toxicité.
3. Étudier et comparer les lois, règlements et directives relatives à la lutte contre la pollution de l'environnement par le cadmium au Canada et dans d'autres pays.
4. Collecter les statistiques et informations commerciales canadiennes et étrangères relatives à la production, l'importation, l'exportation, l'utilisation actuelle et future, les substituts du cadmium, les pertes dans l'environnement pendant la production et l'utilisation, le recyclage et l'élimination des déchets comportant du cadmium et ses composés.
5. Étudier les méthodes d'analyse chimique visant à déterminer la teneur en cadmium de substances se trouvant dans l'environnement et des produits sur le marché et particulièrement la fiabilité des données obtenues par différentes méthodes analytiques compte tenu des recherches récentes sur le contrôle de la qualité.
6. Étudier les teneurs en cadmium dans différents milieux, notamment l'air, les retombées atmosphériques, l'eau, les sédiments, le sol, les produits commerciaux et ménagers, les plantes et les animaux. Les teneurs naturelles et leurs plages normales et les teneurs en cas de contamination de l'environnement étaient comparées chaque fois qu'il existait des données pour le Canada et d'autres pays. L'information sur les tendances des teneurs en cadmium dans les échantillons de milieux était également collectée et évaluée. De plus, les teneurs en cadmium qui prévalent dans l'environnement, au Canada, ont été comparées à des teneurs représentatives de leur seuil de toxicité chronique pour les humains et les biotes.
7. Évaluer les sources d'exposition des Canadiens au cadmium, et préparer une estimation de l'exposition journalière totale, à cet élément, à laquelle les Canadiens sont normalement soumis.
8. Étudier la biochimie et la physiologie du cadmium chez l'humain et particulièrement les modes d'ingestion et d'absorption, de distribution tissulaire, d'accumulation organique à long terme et d'élimination.
9. Étudier les répercussions aiguës et chroniques du cadmium sur les humains, en portant particulièrement attention aux teneurs limites, aux répercussions physiologiques nuisibles, aux recherches épidémiologiques, aux répercussions tératogènes, mutagènes et oncogènes, aux interactions toxiques lors de combinaison avec d'autres éléments non essentiels et oligo-éléments, et la charge corporelle actuelle en cadmium de la population canadienne.

L'annexe 1 contient un résumé des principales constatations faites au cours de ces recherches et études.

Chapitre 3
CRITÈRES D'ÉVALUATION

En bref, le danger réel ou potentiel présenté par un contaminant chimique se trouvant dans un composant donné de l'environnement, dans des conditions définies, peut être considéré comme une fonction directe de la quantité de substance présente (exprimée en unités de teneur), de sa toxicité et de sa stabilité ou persistance. De façon générale, il s'ensuit que si l'un de ces trois facteurs est relativement très petit, le danger potentiel connexe sera probablement petit aussi. Dans des cas spécifiques, une grande quantité d'autres variables peuvent influencer le résultat d'une analyse de ce type : la forme chimique du contaminant notamment (qui régit la quantité absorbable par les biotes ainsi que sa toxicité spécifique); la vitesse de transfert de la substance d'un milieu à un autre; l'espèce, l'âge et le sexe des biotes exposés; la présence ou l'absence d'autres substances qui absorbent ou complexent le contaminant ou augmentent ou diminuent sa toxicité; et certaines variables comme la température, le vent, les précipitations et l'intensité du rayonnement solaire. L'analyse des facteurs ci-dessus constitue la base d'un cadre d'évaluation simple. Elle a été employée pour la sélection des substances à inclure dans la Liste des produits chimiques d'intérêt prioritaire (Gazette du Canada, partie I, 16 janvier 1982). Pour ces raisons, on s'est servi du même concept d'analyse pour l'évaluation du risque dans la section 4 du présent rapport.

Plusieurs principes généraux ont été appliqués pour évaluer l'information relative à la toxicité du cadmium, aux quantités de cadmium dans l'environnement canadien et à sa persistance. Le principe le plus important était que les données devaient être étudiées d'un point de vue critique et non prises pour acquis. Lorsque l'analyse critique indiquait que les meilleures données disponibles étaient peu fiables (c'était, par exemple, le cas des statistiques sur la quantité de cadmium dans le commerce au Canada), nous avons utilisé le scénario du "pire cas possible" et employé les estimations de la quantité **maximum** de cadmium susceptible d'être en cause.

Dans le domaine de la santé, on a recherché jusqu'à quel point il y avait danger significatif et cette estimation qualitative était basée sur la soi-disant "accumulation critique" de cadmium dans le cortex rénal humain, seuil au-dessous duquel on croit qu'aucune répercussion chronique ne se produit chez l'humain, en général. On s'est également penché sur le degré probable de l'accumulation du cadmium due à **toutes** les sources; l'étude scientifique détaillée de l'importance de l'accumulation du cadmium attribuable à une source unique (comme l'alimentation ou le tabac) sortait du cadre de nos préoccupations définies par la Loi sur les contaminants de l'environnement, à condition que le total estimé de toutes les sources n'excède pas le seuil "critique". (Toutefois, d'autres organismes gouvernementaux continuent de faire les recherches scientifiques requises pour raffiner la définition des aspects fondamentaux de la toxicité et de l'absorption du cadmium provenant de différentes sources.)

Les teneurs tissulaires "critiques" étaient rarement disponibles pour les végétaux et les animaux du milieu de sorte qu'il a fallu utiliser d'autres méthodes. On s'est ainsi servi de la plus petite dose de cadmium administrée expérimentalement et qui avait entraîné des répercussions nuisibles chroniques (habituellement une diminution de la croissance ou l'affaiblissement d'une fonction physiologique), chez l'espèce la plus sensible étudiée, pour déterminer les teneurs en cadmium, dans l'environnement, au-dessous desquelles aucun danger significatif n'était prévisible. Cette méthode comporte une marge de sécurité inhérente parce que les plus faibles doses signalées comme ayant eu des répercussions chroniques ne proviennent pas toujours des

meilleures études et parce qu'il est de plus en plus évident que certains biotes peuvent tolérer de plus fortes teneurs en cadmium en milieu naturel que dans les conditions artificielles d'un laboratoire. Comme il aurait été prématuré d'établir un rapport entre les répercussions sur le comportement et un danger significatif, nous n'avons pas tenu compte des cas d'effets chroniques de cette nature signalés dans la documentation. En dépit du nombre croissant de rapports disant que des teneurs subchroniques en cadmium ont des effets heureux sur une certaine gamme d'organismes, nous avons également écarté cette allégation. L'un des autres éléments de notre méthode consistait à étudier de façon approfondie les effets signalés du cadmium sur les biotes de certaines régions d'autres pays reconnues comme étant fortement contaminées par le cadmium, parce que des données de ce type ne sont généralement pas disponibles au Canada. Bien qu'on prétende le contraire, seules de légères répercussions nuisibles chroniques sur les biotes ont été observées en général dans ces emplacements. (La principale exception à cette généralisation est l'éradication de certaines espèces végétales au voisinage d'importantes sources ponctuelles de rejet de métaux lourds dans l'atmosphère. Il est impossible dans ces cas de distinguer les effets du cadmium des répercussions nuisibles des autres polluants connus.) Cette phase de notre recherche nous a enclin à considérer avec beaucoup de scepticisme les préoccupations exprimées au sujet du bien-être de certains biotes, à la suite d'observations de "fortes" teneurs en cadmium chez ceux-ci, parce que la plage indiquée des teneurs en cadmium dans les tissus rénaux de poissons, d'oiseaux et mammifères en bonne santé dans des régions non contaminées est comprise, par exemple, entre quelques parties par milliard et 480 parties par million, soit une différence d'au moins cinq ordres de grandeur. Un autre point est que les teneurs "critiques" dans cet organe n'ont été estimées que pour l'homme, les chevaux et certains rongeurs utilisés pour les expériences. Enfin, dans les quelques cas où des données fiables sur les teneurs tissulaires chez la faune et certains animaux domestiques du Canada existaient, nous les avons comparées avec des données semblables d'autres pays afin de déceler les teneurs anormalement fortes.

L'étude des teneurs en cadmium qui prévalent dans l'environnement canadien reposait avant tout sur l'évaluation critique des méthodes analytiques et des méthodes de contrôle de la qualité utilisées pour une gamme étendue de types d'échantillons. Les critères d'évaluation de ce genre d'information comprenaient la comparaison des limites de détection avec les teneurs signalées, l'examen de la concordance des données signalées avec d'autres données (par exemple, la comparaison des quantités dans les retombées atmosphériques et des quantités rejetées dans l'atmosphère), l'évaluation des méthodes utilisées pour l'analyse statistique des données (comme la mise en évidence de "moyennes" aberrantes pour les plages de quantités trop petites pour être dosées); on désirait également savoir dans quelle mesure on a fait appel à d'autres méthodes pour confirmer les résultats, etc. Sur la base de ce type d'évaluation, nous avons établi que différents résultats publiés étaient préliminaires ou non confirmés, précis dans certaines limites, probablement supérieurs aux teneurs en cadmium réellement présentes, ou encore peu fiables. Ces types de qualification sont inclus dans la section 4 et l'annexe 1. Il convient de remarquer que plusieurs de nos constatations ne concordent pas avec certaines constatations antérieures basées sur des méthodes moins critiques. Par exemple, on sait maintenant qu'au Canada, les teneurs en cadmium dans l'eau potable sont mille fois plus faibles que les valeurs indiquées pour ce type d'eau dans la documentation mondiale contemporaine.

Chapitre 4
ÉVALUATION DU DANGER ET CONCLUSIONS

4.1 Toxicité et exposition

La nature toxique aiguë du cadmium pour l'homme a été établie au milieu du dix-neuvième siècle. Les estimations de la dose orale létale pour les individus varient entre 350 et 3500 mg et les doses létales signalées entre 1,5 et 8,9 g. La dose orale n'ayant pas de répercussion aiguë sur les humains est estimée à 3 mg. La dose létale de cadmium inhalé est reliée au produit de la multiplication de sa teneur dans l'air par la période d'exposition et varierait entre 2,5 et 2,9 g/m^3 pour une minute, ce qui équivaut à 42-48 mg/m^3 pour une heure, etc. La plupart des décès dus au cadmium signalés jusqu'en 1945 étaient reliés à l'exposition au cadmium en milieu industriel. L'empoisonnement sublétal rapide par le cadmium présent dans l'air est caractérisé par une gamme de symptômes dont l'importance croit avec la dose absorbée et qui comprennent des maux de tête, affaiblissement, fièvre, douleurs thoraciques, nausée, sécheresse des voies nasales, vomissement, diarrhée et oedème pulmonaire. L'empoisonnement sublétal rapide par le cadmium, qui se manifeste habituellement par une violente gastrite, a également été communément associé à la contamination par le cadmium des aliments ou boissons en contact avec des surfaces recouvertes de métaux par électrodéposition.

La cause de la fameuse maladie japonaise "Itaï-itaï" qui affecte la minéralisation osseuse a été attribuée à l'ingestion à long terme d'environ 600 μg de cadmium par jour bien qu'une mauvaise nutrition et d'autres facteurs aient été probablement aussi en cause. À cet égard, une étude assez récente conduite chez les habitants du village de Shipham, en Angleterre, dont la nourriture contient des teneurs élevées en cadmium, n'a révélé aucun signe de cette maladie. Une forme connexe d'ostéomalacie (minéralisation osseuse anormale) a également été attribuée à l'exposition professionnelle à long terme à de fortes teneurs en cadmium dans l'air (dans la plage des mg/m^3). L'exposition professionnelle prolongée à des teneurs en cadmium dans l'air excédant quelques centaines de microgrammes par mètre cube entraînerait diverses maladies et notamment : dyspnée, emphysème, anosmie, rhinite, ulcération de la muqueuse pituitaire, dyschromie dentaire, protéinurie et lésions rénales. L'exposition à long terme à de très faibles teneurs en cadmium provenant de différentes sources produit une lente accumulation de ce métal dans les tissus mous, particulièrement le foie et les reins. Le symptôme clinique initial de la maladie rénale provoquée par le cadmium est habituellement la protéinurie, qui peut également être associée à des répercussions connexes comme l'amino-acidurie, la glycosurie et l'hypercalciurie. Depuis quelques années, toutefois, on peut mesurer les teneurs en cadmium dans le foie et les reins d'êtres vivants au moyen d'instruments portatifs d'analyse par activation neutronique.

Des expériences sur les animaux ont montré que le cadmium peut provoquer certains types de cancer mais leur signification pour déterminer si le cadmium est cancérogène pour les humains est douteuse, parce que la méthode d'administration utilisée était l'injection directe dans les tissus. Plusieurs études épidémiologiques faites chez de petits nombres d'ouvriers exposés très longtemps au cadmium ont trouvé que pour certains types de cancer, l'incidence était légèrement plus élevée que prévu. Bien que l'activité du cadmium soit probablement faible, il serait par conséquent plus prudent de le considérer comme un élément soupçonné d'être cancérogène pour les humains. La documentation scientifique ne contient pas encore d'informa-

tion non équivoque sur la mutagénicité du cadmium pour les humains. Il n'a pas été démontré que les aberrations chromosomiques observées chez certains ouvriers exposés sont causées uniquement par le cadmium. Il reste également à prouver que le cadmium serait la cause des aberrations chromosomiques qui ont été observées chez des ouvriers exposés en milieu industriel.

Le rôle du cadmium dans l'hypertension chez l'homme constitue un autre domaine qui prête à controverse bien qu'il soit indubitable que cet élément puisse provoquer l'hypertension dans certaines conditions chez des animaux de laboratoire.

Vu que lors d'un examen de routine les premiers troubles consécutifs à une exposition prolongée au cadmium habituellement décelables sont d'origine rénale, on doit accorder une attention toute particulière aux reins et à la fonction rénale. On s'est efforcé de déterminer la teneur en cadmium soi-disant "critique" dans le rein, c'est-à-dire la teneur à partir de laquelle une accumulation supplémentaire de cadmium causerait probablement l'apparition de signes cliniques de lésions rénales. Cette teneur "critique" a été située à des valeurs comprises entre 100 et 500 p.p. 10^6 en poids humide dans le tissu du cortex rénal d'un homme "moyen" et elle a été arrêtée à 200 p.p.10^6 pour l'âge de 50 ans. Ceci a amené à fixer à 50 p.p.10^6 de cadmium en poids frais dans le cortex rénal la "teneur sans répercussions nuisibles"* chez les personnes âgées de 50 ans dont les principales sources d'exposition à cet élément sont l'alimentation, les boissons et l'air ambiant. Il faut remarquer que la capacité du cortex rénal humain d'absorber un supplément de 150 p.p. 10^6 de cadmium en poids frais, sans que des effets nuisibles s'ensuivent, peut couvrir d'autres types d'exposition comme la cigarette et le contact prolongé à de faibles teneurs en cadmium dans l'air, en milieu industriel.

Des modèles pharmacodynamiques basés en grande partie sur des résultats d'expériences faites sur de petits mammifères indiquent qu'une ingestion orale totale de 60-70 μg de cadmium par jour pour un homme "standard" de 70 kg peut provoquer l'accumulation d'environ 50 p.p.m. de cadmium en poids frais dans le cortex rénal à l'âge de 50 ans, soit une teneur très inférieure à la teneur "critique". Une valeur comparable pour l'ingestion orale sans répercussions pour l'homme a été obtenue en appliquant un facteur de sécurité de 100 à une "teneur sans répercussions nuisibles"* de 125 μg Cd/kg/j obtenue pour le rat. En se basant sur ce type de considérations, la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont proposé à titre provisoire une quantité de 400-500 μg de cadmium comme l'absorption hebdomadaire admissible. Cette somme comprend les principales sources d'apport soit l'alimentation, l'eau potable et l'air ambiant. Toujours sur la base de considérations semblables et d'études épidémiologiques approfondies de travailleurs exposés, différents organismes officiels ont imposé des normes comprises entre 10 et 50 μg Cd/m^3 pour l'air en milieu de travail.

Aucune étude quantitative rigoureuse n'a encore été entreprise sur l'exposition des Canadiens au cadmium. Toutefois, il est évident que pour la population en général, les trois principales sources de cadmium sont l'alimentation, la cigarette et l'exposition professionnelle. Des études préliminaires sur la teneur en cadmium d'un régime alimentaire national composé ont été effectuées par le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social dans quatre grandes villes. Ces études ont situé l'ingestion "moyenne" annuelle de cadmium entre 52 et 80 μg de cadmium par personne par jour en provenance de l'alimentation et des boissons et à une "moyenne" générale de 67 μg qui correspond à la directive provisoire FAO/OMS de 57 à 72 μg/j. Aucune donnée quantitative récente sur la teneur en cadmium des cigarettes canadiennes n'est disponible. Des études comparatives sur la teneur en cadmium des feuilles de

* traduction

tabac indiquent toutefois que les fumeurs de cigarettes canadiennes absorbent probablement environ 0,1 μg de cadmium par cigarette fumée. Certains modèles mathématiques semblent indiquer que chez les grands fumeurs, le tabac contribue tout autant à l'accumulation de cadmium que l'alimentation. La quantité de cadmium "respirée" par l'ensemble de la population canadienne est considérée comme étant négligeable mais le nombre de Canadiens professionnellement exposés au cadmium et les teneurs auxquelles ils sont exposés ne sont pas connues. On pense toutefois que dans les milieux de travail, la teneur de l'air en cadmium n'excède pas 50 $\mu g/m^3$ (seuil-limite tolérable [TLV] actuel).

D'après l'information limitée dont nous disposons, on estime que l'exposition de l'ensemble de la population canadienne au cadmium contenu dans l'alimentation, l'eau potable et l'air ambiant est comparable à celle de la directive sur "l'absorption hebdomadaire admissible" provisoirement fixée par la FAO et l'OMS et que les fumeurs sont susceptibles d'absorber des quantités de cadmium supérieures à la quantité admissible. Un petit nombre d'analyses du cortex rénal faites sur des Canadiens fournissent un appui limité à cette opinion. À 45 et 55 ans, les teneurs moyennes en cadmium trouvées au cours de recherches étaient respectivement de 37 et 45 p.p. 10^6 en poids frais. Une autre étude a signalé des teneurs moyennes de 66 et 54 p.p. 10^6 à 40 et 50 ans respectivement. La deuxième recherche portait sur des groupes approximativement égaux de fumeurs et de non-fumeurs. La première étude n'indiquait malheureusement pas combien de sujets étaient des fumeurs. Toutefois, selon ces données préliminaires, il semble que la teneur moyenne en cadmium dans le cortex rénal chez les canadiens de 50 ans est proche de la "teneur sans répercussions nuisibles"* de 50 p.p. 10^6 qui a été employée par la FAO et l'OMS.

Vu que la directive provisoire FAO/OMS ne concerne que la charge corporelle en cadmium provenant de l'alimentation, des boissons et de l'air ambiant, et vu que les données sur le cortex rénal indiquent, comme nous venons de le voir que, si l'on excepte l'exposition industrielle, les teneurs pour l'ensemble des autres sources sont très inférieures à la teneur critique de 200 p.p. 10^6 à l'âge de 50 ans, rien ne permet donc de croire que le cadmium présente un danger significatif pour la population du Canada en général. Ainsi, les critères de toxicité pour les humains et d'exposition n'indiquent pas qu'il faille actuellement réglementer le cadmium en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

La quantité d'informations pertinentes disponibles sur l'écotoxicité du cadmium est beaucoup moins importante et s'explique par l'abondance des espèces et des variétés animales et végétales; le manque de connaissances sur la physiologie des différentes espèces; la difficulté d'extrapoler les résultats des recherches toxicologiques faites en laboratoire (qui ne portent normalement que sur l'exposition au cadmium seul) pour des situations réelles (dans lesquelles l'exposition au cadmium seul constitue l'exception et non la règle); et le désaccord en ce qui concerne les espèces les plus appropriées ou les plus sensibles et les différents indices de toxicité chronique. De plus, la plus grande partie de l'information disponible sur la toxicité du cadmium pour les organismes autres que l'organisme humain ne concerne que la dose ou l'exposition associée à une répercussion observée et non les teneurs tissulaires correspondantes. Les dangers potentiels associés aux teneurs en cadmium mesurées dans une vaste gamme de biotes, qui ont fait l'objet d'un grand nombre de rapports, sont par conséquent en grande partie inconnus à cause de l'insuffisance des données sur les teneurs tissulaires "critiques" ou sécuritaires.

La toxicité du cadmium pour la plupart des plantes terrestres est relativement faible. À titre d'exemple extrême, on a retrouvé 19 000 p.p. 10^6 de cadmium dans les racines viables d'une variété de laitue cultivée pendant cinq semaines dans un milieu hydroponique contenant 50 p.p. 10^6 de cadmium. On a constaté que d'autres plantes terrestres montrent une diminution modérée de la croissance couplée à des teneurs tissulaires en cadmium exprimées en centaines

*traduction

de parties par million lorsqu'elles sont cultivées dans des sols fortement contaminés par le cadmium. Des répercussions toxiques aiguës ou chroniques du cadmium sont par conséquent rarement observées chez les plantes terrestres et n'ont que peu d'importance par comparaison avec le danger que comporte son accumulation dans les plantes destinées à la consommation humaine.

Les plantes aquatiques peuvent elles aussi généralement accumuler de très fortes teneurs en cadmium avant l'apparition d'effets toxiques. Une espèce d'algue très utilisée pour les essais montre, par exemple, une diminution de 50 p. 100 de la vitesse de croissance dans un milieu aqueux dont la teneur en cadmium varie entre 600 p.p. 10^9 et 4,7 p.p.10^6 (selon l'indice de croissance surveillé). Les teneurs tissulaires correspondantes varient entre 300 et 20 000 p.p.10^6, la plus faible étant au moins six fois plus forte que les teneurs tissulaires d'algues trouvées dans des régions fortement polluées. Pour l'instant, l'espèce de plante aquatique la plus sensible utilisée dans les essais semble être une diatomée dulçaquicole qui a montré une diminution de 50 p. 100 de son taux de fixation du carbone à une teneur en cadmium de 100 p.p. 10^{12} dans son milieu de croissance; toutefois, par une autre méthode de mesure de la croissance, le même organisme ne montre aucune diminution de la croissance dans un milieu contenant 8,5 p.p. 10^9 de cadmium. Comme l'indique l'annexe 1, même la plus faible des teneurs ci-dessus excède les teneurs mesurées dans les lacs et rivières non pollués. Le cadmium étant fortement associé à l'ion chlorure dans l'eau de mer, il est moins biodisponible pour les organismes marins que pour les organismes dulçaquicoles. Ceci est confirmé par la plus forte teneur en cadmium (environ 100 p.p. 10^9) associée à une légère diminution de la croissance, constatée chez une espèce relativement sensible de diatomée marine.

Les effets toxiques du cadmium sur les animaux aquatiques se font sentir également à des teneurs de l'eau en cadmium qui sont fortes par comparaison aux teneurs que l'on trouve le plus souvent. L'espèce dulçaquicole la plus sensible identifiée à ce jour est *Daphnia magna* qui montre une diminution de son taux de reproduction à une teneur en cadmium de 150 p.p. 10^{12}. La plus faible teneur létale médiane en cadmium est 1 p.p. 10^9 pour les larves d'achigan à grande bouche et la truite arc-en-ciel, en eaux douces peu calcaires. En milieu marin, l'organisme le plus sensible semble être une crevette *mysis;* aucune répercussion néfaste au cours d'essais sur son cycle vital n'a été décelée à une teneur en cadmium de 4,8 p.p. 10^9 ; la valeur médiane de la teneur létale aiguë pour cet organisme est de 15,5 p.p. 10^9. Parce que les eaux de mer non contaminées ont rarement une teneur en cadmium excédant 100 p.p. 10^{12}, la marge de sécurité pour les organismes marins semble être plus grande que la marge de sécurité pour les espèces dulçaquicoles.

Bien que l'importance relative de l'eau et de l'alimentation qui régissent le degré de la charge corporelle de cadmium chez les animaux aquatiques n'ont pas été déterminées à fond, il semblerait qu'en général c'est la teneur en cadmium biologiquement disponible dans l'eau qui est la plus importante. (Certaines exceptions à cette généralisation sont observées dans le cas d'écosystèmes fortement pollués et dans le cas d'organismes qui se trouvent dans les sédiments aquatiques et sur ceux-ci). Pour cette raison, il semblerait que l'inquiétude exprimée quant à la possibilité que la charge corporelle en cadmium (et implicitement ses effets néfastes) aille en augmentant dans les chaînes alimentaires aquatiques ("bio-amplification"), soit à présent en grande partie injustifiée. Toutefois, chez les spécimens prélevés dans les régions polluées, les teneurs tissulaires sont généralement plus fortes que celles d'échantillons comparables prélevés dans les régions non polluées parce que le degré de bio-accumulation est fonction de la teneur en cadmium disponible.

À l'exception de données expérimentales obtenues en laboratoire avec des rongeurs (les estimations de la DL_{50} pour différents composés du cadmium administrés oralement au rat, par exemple, ont une valeur médiane d'approximativement 300 mg/kg et une plage comprise entre 16 et plus de 5000 mg/kg), on ne trouve qu'une information fragmentaire sur la toxicité aiguë du cadmium pour les animaux terrestres dans la documentation scientifique récente. La documentation plus ancienne contient quelques références traitant d'empoisonnements mortels d'animaux domestiques (habituellement des ruminants) attribuables possiblement au cadmium, mais ces rapports ne contiennent que rarement des informations sur les doses en cause. En général, les doses létales de cadmium sont probablement si fortes qu'on doute que les animaux terrestres puissent consommer des aliments ou boire de l'eau qui contiendraient des doses mortelles de cadmium. Par conséquent, seule l'exposition chronique à long terme au cadmium offre un intérêt pratique.

Des études sur les effets que peut avoir de la nourriture renfermant du cadmium ont été faites avec plusieurs espèces d'animaux domestiques. Une dégénérescence du tissu intestinal a été observée chez une caille d'une journée dont la nourriture contenait 1 p.p.10^6 de cadmium, dégénérescence qui n'était que transitoire cependant. C'est la plus faible teneur en cadmium signalée comme ayant eu des effets. Une plus grande fragilité des coquilles d'oeufs a été signalée chez des poules dont la nourriture contenait 10 p.p. 10^6 de cadmium et des teneurs de 60 p.p. 10^6 ont entraîné une baisse de la consommation d'aliments chez la volaille domestique. La plus faible teneur en cadmium dans la nourriture, signalée comme ayant eu un effet chronique chez certains gros animaux domestiques (des agneaux en l'occurence), était de 5 p.p. 10^6 et les effets observés étaient une diminution de la consommation d'aliments et un ralentissement de la croissance comparativement aux témoins. Une autre étude ne signale cependant rien de tel. Comme la teneur normale en cadmium dans la nourriture habituelle des animaux domestiques excède rarement 500 p.p. 10^9, il semble extrêmement improbable que le cadmium constitue en général un danger potentiel pour la santé des animaux domestiques.

Les effets du cadmium sur la santé de la faune terrestre, spécialement au voisinage des sources connues d'émission, demeurent en grande partie inconnus, ce qui est fort regrettable. Toutefois, si l'on établit une relation avec les données de toxicité pour les animaux domestiques, on peut arguer que des effets toxiques chroniques et de fortes teneurs tissulaires en cadmium devraient pouvoir être observés chez la faune au voisinage des principales sources de pollution, mais rien de semblable n'a été signalé à ce jour au Canada.

D'après les résultats de cette analyse de l'écotoxicité du cadmium et des données d'exposition du milieu à cet élément (à l'exception possible des régions contaminées), il n'existe par conséquent pas de raison de croire, dans le contexte de la Loi sur les contaminants de l'environnement, que les teneurs en cadmium de l'environnement canadien puissent être en général dommageables à ce dernier.

4.2 Persistance du cadmium dans l'environnement et teneurs en cadmium dans l'environnement

Le cadmium, comme d'autres éléments chimiques, n'est pas dégradable et subsiste indéfiniment dans l'environnement. Pour cette raison, il importe d'étudier son accumulation dans les différents milieux et biotes concernés ainsi que chez l'humain et de déterminer si cette accumulation a présenté ou pourrait présenter un danger. Les tendances de l'accumulation et l'identification des réservoirs environnementaux ont la même importance, particulièrement si les teneurs présentes sont proches des teneurs identifiées comme étant nuisibles.

On a conclu d'après la meilleure information disponible que les teneurs actuelles en cadmium dans l'environnement et l'ensemble de la population du Canada sont toujours inférieures aux teneurs reconnues comme étant dangereuses (voir également annexe 1). De plus, ces teneurs (à l'exception peut-être des teneurs dans l'alimentation et les tissus humains) sont

généralement inférieures à celles signalées dans d'autres pays industrialisés. Comme le cadmium n'est devenu un produit commercial important qu'au début du vingtième siècle, sa tendance à s'accumuler dans les réservoirs environnementaux a toutefois été à la hausse au cours des quatre ou cinq dernières décennies. Par conséquent, bien que les teneurs existantes soient généralement considérées comme sans danger, des études de surveillance des milieux, biotes, tissus humains et alimentation sont requises pour vérifier que leur tendance à l'augmentation reste faible. Le cadmium a une importance particulière à cet égard, car on sait que sa possibilité d'accumulation dans pratiquement tous les milieux et les biotes est bien supérieure aux teneurs qui sont considérées comme étant des limites à partir desquelles ses répercussions pourraient être dangereuses. De plus, au Canada, il faut surveiller particulièrement le voisinage des sources connues de rejet de cadmium et les charges corporelles de cet élément dans la partie de la population qui est exposée professionnellement au cadmium et à ses composés.

Comme au taux d'accroissement actuel, la période requise pour atteindre le seuil de danger potentiel un peu partout au pays est très longue, les critères de persistance dans l'environnement n'exigent pas de réglementer le cadmium en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

4.3 Production, utilisations et élimination du cadmium

La production mondiale de cadmium dans les années 1950, 1960 et 1970 représente respectivement 15, 30 et 35 p. 100 des 430 000 tonnes de cadmium qui auraient été produites jusqu'en 1979. Les pourcentages d'augmentation de la consommation mondiale annuelle de cadmium au cours des années 1950, 1960 et 1970 ont été respectivement de 6, 2,8 et 2,3 p. 100 environ.

Au Canada, le cadmium contenu dans les concentrés de minerai de zinc se chiffre approximativement à 3 500 tonnes par an pour les dernières années, ce qui représente à peu près 25 p. 100 de la production annuelle de cadmium du monde libre. La production canadienne annuelle de cadmium élémentaire est d'approximativement 1 200 tonnes en moyenne; le reste du cadmium, à l'exclusion de pertes relativement petites au cours du traitement et du transport, est contenu dans les concentrés de minerai exportés. La plus grande partie de la production canadienne de cadmium affiné est également exportée. La consommation canadienne maximale de cet élément à l'état pur est estimée à environ 125 tonnes par an, dont environ 50 à 65 p. 100 sont probablement utilisés par l'industrie de l'électrodéposition. Le reste de la consommation nationale de cadmium affiné servirait à la production d'alliages (environ 35 p. 100) et de quelques produits chimiques contenant du cadmium (environ 15 p. 100). On estime que jusqu'à 50 tonnes de cadmium sont importées chaque année au Canada par le biais des pigments, alliages et matériaux fabriqués et qu'une autre quantité nette atteignant jusqu'à 100 tonnes par an peut se trouver dans une vaste gamme de biens fabriqués importés chaque année. La consommation canadienne annuelle de cadmium n'excèderait donc pas 275 tonnes, soit approximativement 2 p. 100 de la production annuelle de cadmium du monde libre.

Pour fins de comparaison, on considérait en 1974 que la consommation mondiale de cadmium était partagée entre l'électrodéposition (33 p. 100), les pigments (26 p. 100), les stabilisants des plastiques (15 p. 100), les batteries d'accumulateurs (14 p. 100) et les autres utilisations (12 p. 100). Des différences considérables existent toutefois entre les statistiques de l'utilisation mondiale et celles des différents pays, dont le Canada, et des variations annuelles importantes se produisent également.

Des 275 tonnes de cadmium au maximum qui entrent annuellement dans les produits fabriqués au Canada, environ 90 p. 100 sont probablement éliminés dans des sites d'enfouissement et des dépotoirs où cet élément est pratiquement immobilisé, de sorte qu'au maximum 30 tonnes de cadmium par an sont susceptibles d'être rejetées dans l'atmosphère ou dans l'eau à la suite de l'utilisation commerciale de cet élément et de ses composés. On sait qu'au Canada, seule une très petite quantité de cadmium est recyclée.

De beaucoup plus grandes quantités de cadmium entrent dans l'environnement canadien, en particulier dans l'atmosphère, à la suite d'activités autres que l'affinage et l'utilisation de cet élément et de ses composés. En 1972, par exemple, les rejets de cadmium dans l'atmosphère étaient estimés à 397 tonnes pour les affineries de cuivre et de nickel, à 89 tonnes pour la combustion du pétrole et à 22 tonnes pour différentes autres sources. On estimait que les mines de métaux, les usines, les fonderies et les affineries rejetaient jusqu'à 40 tonnes de cadmium par an dans leurs effluents. Les effluents des stations municipales d'épuration peuvent rejeter annuellement entre 3 et 10 tonnes de cadmium dans le milieu aquatique. En plus de l'élimination des déchets et des retombées atmosphériques, les sources de cadmium rejeté sur le sol comprennent les boues des stations urbaines d'épuration (jusqu'à 25 tonnes annuellement) et le cadmium contenu dans les engrais phosphatés (jusqu'à 50 tonnes annuellement).

Il est évident que la quantité de cadmium dispersée dans des secteurs sensibles de l'environnement canadien et provenant soit des activités d'affinage, soit de l'utilisation du cadmium et de ses composés dans des produits consommables, est petite si on la compare avec celle émanant d'autres sources.

On ne sait pas au juste ce qu'il advient de ces émissions. Par exemple, la quantité de cadmium transportée annuellement jusqu'à la mer par le fleuve St-Laurent, qui est le seul cours d'eau canadien chargé de cet élément pour lequel il existe une estimation, s'élève approximativement à 60 tonnes. Mais il nous est impossible de dire combien est d'origine commerciale et non d'origine naturelle. Le comportement des émissions atmosphériques de cadmium n'est lui aussi compris que de façon générale. Les quantités de cadmium particulaire contenues dans les précipitations atmosphériques sèches (poussière) sont directement reliées à la dimension des particules et diminuent de manière exponentielle avec la distance de la source d'émission. Toutefois, les très petites particules sont normalement moins susceptibles de retomber seules au sol et peuvent par conséquent être transportées sur des distances considérables avant d'être entraînées au sol par la pluie ou la neige. Bien qu'on ignore combien de cadmium est apporté dans l'environnement ou au contraire est soustrait par le transport atmosphérique à longue distance, des calculs sommaires basés sur des dosages préliminaires du cadmium dans les précipitations humides (pluie et neige) au Canada et sur les plus bas taux de retombée signalés à ce jour en Amérique du Nord semblent indiquer que les retombées atmosphériques de cadmium peuvent excéder chaque année de plusieurs centaines de tonnes la quantité connue de cadmium rejetée dans l'atmosphère au Canada.

Comme les taux globaux de rejet devraient fortement augmenter avant d'approcher les teneurs dangereuses dans l'ensemble du pays et qu'on s'attend d'autre part à ce que les mesures de confinement existantes fassent baisser les taux prédominants, il n'est pas actuellement nécessaire de publier, en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement, des règlements visant à contrôler la charge de l'environnement en cadmium.

Toutefois, comme nous l'avons indiqué ci-dessus, cette conclusion n'écarte pas l'utilisation future de cette loi ou de toute autre loi appropriée pour contrôler les rejets de cadmium au voisinage des principales sources de pollution.

4.4 Conclusion

Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre 1, la Loi sur les contaminants de l'environnement indique qu'il ne peut être proposé de publier des règlements visant à contrôler l'entrée d'une substance dans l'environnement que si les ministres ont des motifs de croire qu'un danger significatif existe ou peut survenir.

Pour les raisons précises données ci-dessus et d'après l'évaluation critique des meilleures informations trouvées sur les répercussions du cadmium sur l'environnement et les humains (voir annexe 1), nous concluons que :

Dans le contexte de la Loi sur les contaminants de l'environnement, les Ministères n'ont pas de motif de croire que le niveau actuel d'entrée du cadmium et ses composés dans l'environnement canadien constitue un danger significatif pour la santé ou l'environnement. De ce fait, l'élaboration de règlements publiés en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement pour contrôler l'entrée du cadmium dans l'environnement au cours des activités commerciales, de fabrication ou de traitement n'est pas actuellement justifiée.

Nonobstant cette conclusion, les points suivants doivent être relevés. En dehors de l'exposition professionnelle et de celle qui est due au tabac, la principale source d'exposition au cadmium de la population en général est l'alimentation. Pour certains Canadiens, l'absorption du cadmium dans l'alimentation semble être proche du niveau admissible recommandé provisoirement par le Comité mixte FAO/OMS d'experts en additifs alimentaires. Une information plus définitive est par conséquent requise pour évaluer à fond les conséquences du cadmium contenu dans les aliments, sur la santé des Canadiens. Pour cette raison et des raisons connexes, les ministères de l'Environnement et de la Santé nationale et du Bien-être social considèrent qu'il faut continuer à prendre des mesures prudentes visant à minimiser les rejets de cadmium dans les milieux sensibles de l'environnement comme les sols agricoles, l'air ambiant et les écosystèmes aquatiques sensibles. Toutefois, le rejet du cadmium et de ses composés dans des sites d'enfouissement gérés de la façon appropriée et l'immersion en mer à de faibles teneurs de cet élément conformément aux termes de la Loi sur l'immersion de déchets en mer constituent des méthodes environnementalement acceptables.

Ceci n'écarte pas soit la publication de règlements subséquents en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement (si de nouveaux signes indiquent un danger potentiel significatif pour la santé ou l'environnement ou l'apparition d'un danger significatif dans certains emplacements particuliers au Canada), soit la publication, en vertu de toute autre loi, de règlements relatifs au rejet du cadmium dans l'environnement canadien ou à la teneur maximale en cadmium des marchandises commerciales.

Annexe I

Résumé des constatations

1. Documentation scientifique et technique sur le cadmium

Si l'on s'en tient aux principaux services de préparation de résumés (comme les *Cadmium Abstracts* et *Chemical Abstracts*), le nombre de publications (livres, revues, actes de symposium, rapports, brevets, documents scientifiques et techniques) traitant du cadmium et ses effets sur la santé et l'environnement serait d'environ 200 par mois. Il s'ensuit qu'une grande partie de l'information scientifique existante sera périmée dans quelques années. Cela sera particulièrement vrai pour l'information pertinente aux domaines qui font actuellement l'objet de recherches intenses comme la méthodologie analytique, l'absorption alimentaire, les effets sur l'organisme humain, les teneurs naturelles en cadmium dans les différents milieux et l'étude des effets toxiques du cadmium pour l'environnement.

2. Propriétés chimiques et physiques du cadmium

Du point de vue de l'environnement, les plus importantes propriétés physiques et chimiques du cadmium semblent être ses tendances à former des complexes stables, à précipiter à l'état de sulfure insoluble dans les milieux anaérobies (et, à l'inverse, à s'oxyder et devenir mobile dans les voisinages aérobies), à se dissoudre aux faibles pH, à passer facilement (pour un métal) en phase vapeur (dans laquelle il est habituellement converti rapidement en oxyde en présence d'air) et à s'associer normalement au zinc et ses composés. Contrairement au mercure, il n'a pas été démontré que le cadmium se convertit en dérivés méthylés stables dans l'environnement. De plus, les propriétés électrochimiques et photochimiques de cet élément et de ses composés semblent destinées à prendre de plus en plus d'importance et à susciter de plus en plus d'intérêt. Bien que ces propriétés soient bien comprises isolément, elles ne servent que d'indicateurs pour étudier le comportement du cadmium dans l'environnement. Par exemple, l'information de base vraisemblablement utile pour l'étude du comportement du cadmium dans l'écosystème sol/plantes, dans l'atmosphère et dans le système eau/matières solides en suspension/sédiments ne peut être caractérisée que par l'adjectif "clairsemée".

3. Règlements et directives relatifs à la lutte contre la pollution par le cadmium

Les règlements et directives canadiens relatifs à la lutte contre la pollution de l'environnement par le cadmium se comparent favorablement à ceux de la plupart des autres pays industrialisés.

Il existe au Canada des règlements et/ou directives relatifs à la lutte contre la pollution par le cadmium pour les eaux de surface, les résidus de dragage immergés dans les lacs, les effluents des ateliers d'électrodéposition et d'autres industries, les déchets immergés en mer, les boues d'égout épandues sur les terres agricoles, les engrais agricoles dérivés des boues d'égout, l'air en milieu industriel, l'air ambiant, l'eau potable, le cadmium lessivable des produits en céramique vernissée, les peintures appliquées sur les jouets d'enfants et les plastiques en contact avec les aliments.

On n'a trouvé ni directive ni règlement canadien relatif à la teneur en cadmium des émissions atmosphériques des sources industrielles ponctuelles, l'air ambiant au voisinage de ces sources, les retombées atmosphériques, les sols agricoles, les produits chimiques agricoles et les engrais phosphatés, les sédiments aquatiques, les effluents municipaux, les effluents miniers, les déchets solides d'origine urbaine ou industrielle, les eaux marines et estuariennes, les rejets dans les eaux marines ou estuariennes, les revêtements superficiels de métal, les pigments, les plastiques, les biocides, les aliments ou produits alimentaires, les biens ménagers autres que les jouets d'enfants, ou les produits dentaires. Dans d'autres pays toutefois, il existe des directives et/ou règlements relatifs à un grand nombre des domaines ci-dessus et certains d'entre eux pourraient être appliqués par des industries et organismes canadiens.

Les règlements ontariens relatifs aux quantités de cadmium qui peuvent être épandues sur le sol arable par l'intermédiaire des boues d'égout sont plus restrictifs que la plupart des directives et règlements américains comparables et moins restrictifs que la plupart des directives et règlements européens. S'ils étaient appliqués par la communauté agricole, ces règlements empêcheraient l'addition d'autres quantités mesurables de cadmium dans les produits destinés à la consommation humaine.

Ces dernières années, les règlements relatifs aux teneurs en cadmium admissibles dans les eaux de surface sont devenus plus restrictifs à cause des connaissances acquises sur sa toxicité en milieu aquatique. Par exemple, la teneur en cadmium admissible pour les Grands Lacs fixée par directive à 200 p.p. 10^{12}, n'est égale qu'à $1/25^{e}$ de la teneur maximum admissible en cadmium pour l'eau potable au Canada récemment abaissée par une directive, et se situe nettement au-dessous de la capacité de détection de la plupart des organismes de surveillance. Même la teneur indiquée dans la directive sur les Grands Lacs semble forte si on la compare avec leur teneur réelle en cadmium.

Au Canada, la réglementation des effluents des ateliers d'électrodéposition de cadmium acheminés vers les stations urbaines d'épuration est du ressort des provinces, bien que certaines directives de ce type aient été publiées par le gouvernement fédéral.

Les règlements qui, au Canada, s'appliquent actuellement aux teneurs en cadmium admissibles dans les déchets qui doivent être immergés en mer sont basés sur des critères dépassés.

On ne sait pas dans quelle mesure les directives et/ou règlements canadiens relatifs à la pollution par le cadmium sont respectés en raison de la rareté des informations.

Une interdiction limitée d'utilisation du cadmium dans l'électrodéposition, les pigments et les plastiques a été récemment annoncée par le gouvernement suédois. L'application de cette interdiction a toutefois suscité des difficultés considérables parce que le nombre de produits commerciaux qui contiennent du cadmium est considérable. C'est pourquoi le gouvernement suédois a exempté temporairement de cette interdiction les produits concernés importés ou fabriqués en Suède.

4. Production et élimination du cadmium

Presque tout le cadmium produit dans le monde est un sous-produit de la fusion primaire et de l'affinage d'autres métaux. La plus grande partie de ce métal provient de la fusion du zinc et des quantités plus petites de cet élément proviennent de la fusion du plomb et du cuivre. Un très faible pourcentage de la production de cadmium provient du recyclage ou de la deuxième fusion d'autres métaux. On continuera donc à produire une certaine quantité de cadmium tant qu'il existera une demande pour ces métaux non précieux indispensables. Toute stratégie visant à contrôler, au Canada, le rejet dans l'environnement de cadmium provenant de sources commerciales serait par conséquent intimement reliée à la production des métaux non précieux.

L'information existante sur les quantités de cadmium commercialisées au Canada est insuffisante pour être utilisée dans un modèle quantitatif quelconque de bilan massique, en raison surtout du manque d'information sur la teneur en cadmium des biens fabriqués importés et exportés.

Au Canada, une très importante partie du cadmium contenu dans les biens fabriqués, voire la plus grande, est éliminée dans des dépotoirs et des sites d'enfouissement. Dans ces milieux, la vitesse de conversion du cadmium en formes mobiles est lente et si le site d'élimination a été bien conçu, la dissipation des formes mobiles de cet élément dans les milieux proches comme le sol avoisinant et la couverture terrienne, les eaux souterraines et les biotes sera très lente. D'après l'information limitée existante, l'enfouissement constitue la méthode la plus acceptable du point de vue de l'environnement pour éliminer le cadmium contenu en faibles teneurs dans les déchets en vrac.

Le cadmium dissous dans les eaux usées à des teneurs situées dans la zone inférieure de la plage des parties par million ou au-dessous de celle-ci est rapidement converti, après rejet et dilution, en formes moins disponibles biologiquement par interaction avec certaines matières en suspension et certains sédiments. Une grande partie de ce cadmium est éventuellement enfouie dans les sédiments lacustres ou marins. D'après certaines recherches sur les répercussions biologiques du cadmium à des teneurs de quelques parties par million et les normes régissant l'élimination des déchets de dragage de la plupart des organismes de réglementation, on pense que les teneurs en cadmium de cet ordre dans ce type de sédiments sont admissibles en ce qui concerne l'environnement. Dans les systèmes dulçaquicoles, certains facteurs environnementaux qui ne sont pas parfaitement compris semblent maintenir un équilibre entre le cadmium se trouvant dans les sédiments et le cadmium se trouvant dans l'eau, équilibre qui ferait qu'il y en aurait mille fois plus dans les sédiments que dans l'eau. Ce processus empêche l'accumulation, par endroits, de fortes teneurs en cadmium dans les eaux de surface.

Par contraste avec son immobilité dans les sols et les sédiments et sa mobilité limitée dans l'eau et les matières en suspension aux conditions qui prévalent dans l'environnement, la mobilité du cadmium dans l'air est très grande. Le cadmium atmosphérique est éliminé par les retombées de poussière, la pluie et la neige et, dans une proportion beaucoup plus petite, par les biotes; cette élimination est régie de façon complexe par les conditions météorologiques. Le cadmium a non seulement une plus grande mobilité dans l'atmosphère que dans les autres milieux, mais également une demi-vie beaucoup plus courte (de l'ordre de quelques jours) dans ce milieu que dans les réservoirs environnementaux comme le sol et les sédiments enfouis dans lesquels les demi-vies du cadmium sont respectivement de l'ordre de plusieurs décennies et millénaires. La combinaison de la mobilité du cadmium dans l'atmosphère, de sa durée limitée dans ce milieu et de la possibilité qu'il s'y trouve à de hautes teneurs font que le cadmium atmosphérique est très accessible aux biotes à la fois à court terme à la suite de l'exposition directe (inhalation par les animaux et dépôt sur les plantes) et à plus long terme à cause de l'absorption biologique subséquente dans les sites de dépôt comme les sols et les eaux de surface. De plus, le cadmium atmosphérique d'origine industrielle (thermique) tend à être lié à de très petites particules en suspension (d'un diamètre inférieur à 1 μm environ). Cette forme particulaire, qui contient la plus forte teneur relative en cadmium, est la forme la plus facilement absorbée par les organismes aérobies et constitue la fraction la plus dispersée. On comprend donc pourquoi l'atmosphère est le milieu dans lequel le cadmium est le moins souhaitable et pourquoi on devrait tout faire pour en décourager le rejet dans l'atmosphère. Cette constatation n'est basée que sur le potentiel comparé de nuisance du cadmium atmosphérique et du cadmium existant dans les autres milieux. Pour remettre cette affirmation dans son contexte, il faut remarquer que les teneurs actuelles en polluants atmosphériques autres que le cadmium (notamment les oxydes de soufre et d'azote) sont considérées comme étant beaucoup plus dangereuses.

Le cadmium a été défini comme étant un "polluant immuable"*, expression qui a été créée pour souligner la permanence de sa persistance dans l'environnement. À cause de cette persistance, on a soutenu que les analyses contemporaines risques-avantages ne peuvent s'appliquer à cet élément à cause des difficultés reliées à l'évaluation des dangers permanents. Toutefois, les conclusions ci-dessus permettent de noter que cet argument ne doit s'appliquer strictement qu'à la partie de cadmium dispersée qui persiste en fortes teneurs dans les milieux (biotes, sols cultivés, eau et air), dans lesquels il est le moins acceptable.

Il existe de nombreuses méthodes d'épuration pour éliminer le cadmium des effluents de procédés industriels, rejetés actuellement par des sources ponctuelles importantes dans l'air, l'eau

* traduction

et le sol. L'élimination du cadmium et d'autres contaminants (en particulier le dioxyde de soufre) des émissions atmosphériques exige des techniques fort compliquées et coûteuses, ce qui expliquerait le retard qu'accusent, au Canada, les initiatives visant à diminuer les émissions atmosphériques de cadmium par rapport à celles visant à contrôler les rejets de cadmium autres qu'atmosphériques. Le contrôle des autres émissions atmosphériques de cadmium provenant de sources ponctuelles plus petites, comme la combustion des combustibles fossiles, est potentiellement beaucoup plus difficile.

5. Méthodes analytiques

Seules quelques méthodes analytiques communément employées actuellement ont des limites inférieures de détection suffisamment basses pour permettre de doser le cadmium avec précision par l'analyse directe de milieux importants comme l'air, le sol, les sédiments, les tissus végétaux et animaux, l'eau et les liquides biologiques. C'est pourquoi les méthodes communément employées comme la spectroscopie d'absorption atomique à la flamme requièrent normalement, préalablement à l'analyse, la concentration du cadmium contenu dans les échantillons prélevés dans l'environnement. Cette concentration entraîne fréquemment la destruction ou la modification de la matrice de l'échantillon. Des comparaisons de méthodes et des études comparatives interlaboratoires ont généralement montré que les méthodes d'analyse avec concentration préalable sont peu précises et que en plus leurs limites inférieures de détection sont encore fréquemment insuffisantes.

Les méthodes analytiques qui paraissent actuellement fiables pour détecter des teneurs naturelles en cadmium de l'ordre des parties par trillion (p.p. 10^{12}) dans, par exemple, l'air et l'eau sont la spectroscopie d'absorption atomique dans un four en graphite, la spectroscopie de fluorescence atomique, la spectroscopie de masse à source à étincelles pour analyse par dilution isotopique et la voltamétrie par redissolution anodique à impulsion différentielle. Leur utilisation n'est toutefois pas assez généralisée pour permettre des estimations fiables de leur reproductibilité dans des laboratoires différents ou de leur fiabilité avec des types d'échantillons provenant de milieux très différents. De plus, la précision des méthodes d'analyse très sensibles dépend de la qualité des modes opératoires employés pour isoler le cadmium des autres types de matrice d'échantillons comme le sol, les sédiments et les tissus. Une autre complication tient dans le fait que les méthodes analytiques de quantités infinitésimales font fréquemment surgir des problèmes précédemment inconnus dans le domaine des méthodes de prélèvement des échantillons, de réduction de la valeur du blanc et de la destruction des matrices.

La quasi-totalité de la documentation scientifique destinée à fournir une information quantitative sur le cadmium dans les échantillons de milieux ne peut servir pour l'évaluation de la réglementation. Les données numériques contenues dans ces publications doivent être considérées avec prudence parce qu'elles comportent ordinairement plusieurs imperfections qui peuvent ajouter à l'incertitude, à savoir : échantillonnage pas bien effectué et/ou décrit; le degré de variation dû à la méthodologie employée, aux conditions du milieu, à la stabilité de l'échantillon, etc., n'est pas précisé; les méthodes analytiques utilisées ne sont pas assez sensibles (voir ci-dessus); les études de taux de récupération sont insatisfaisantes; pas de contrôle acceptable de la qualité; utilisation de techniques douteuses de concentration et/ou de destruction des matrices; on n'accorde pas assez d'importance aux interférences; les résultats n'ont pas été vérifiés par d'autres méthodes analytiques; les résultats n'ont pas fait l'objet d'études comparatives interlaboratoires; on s'est attardé plus sur la précision des résultats que sur leur exactitude; utilisation d'étalons inadéquats ou inappropriés. Toutes ces raisons nous incitent à conclure que c'est plus l'insuffisance d'attention accordée aux aspects de l'assurance de la qualité des analyses chimiques du cadmium contenu dans les échantillons de milieux que l'utilisation d'une méthode périmée

qui est à la base du problème. La documentation contient toutefois un petit nombre d'exemples de données fiables obtenues par des analystes très qualifiés forcés d'utiliser des méthodes analytiques anciennes et insensibles mais qui ont pris soin d'y apporter les modifications nécessaires. (Il est question dans le chapitre 3 intitulé "Critères d'évaluation" ainsi que dans la section qui suit, des moyens pris pour compenser les insuffisances des méthodes analytiques et de contrôle de la qualité au cours de cette étude.)

6. Teneurs en cadmium dans les milieux et leurs répercussions

L'utilisation des méthodes analytiques les plus récentes pour la surveillance des teneurs en cadmium dans l'environnement canadien s'est faite lentement; de ce fait, l'information quantitative fiable sur les teneurs actuelles est relativement rare. Les données sont en quasi-totalité très récentes et limitées à de petites régions géographiques. Ceci explique qu'on ne peut pratiquement pas prévoir à l'heure actuelle la direction des tendances des teneurs en cadmium dans des milieux comme l'air urbain et rural, les lacs et rivières et l'eau potable, les retombées atmosphériques, les sols agricoles ainsi que dans les aliments destinés à la consommation humaine, qui ont de l'importance car c'est par eux que les humains sont exposés au cadmium. (Il existe toutefois des données sur la tendance des teneurs présentes dans d'autres milieux qui sont indiquées à la fin de la présente section.) De plus, le manque d'informations sur les teneurs naturelles actuelles en cadmium gêne les recherches sur la toxicologie des milieux, les capacités de charge de l'environnement, les mécanismes de transfert d'un milieu à un autre, etc.

Malgré nos réserves sur la qualité d'une grande partie des données existantes sur le contrôle du cadmium au Canada, nous les avons comparées grosso modo avec des données semblables d'autres pays pour essayer de déterminer l'importance relative de la pollution par le cadmium au Canada et dans d'autres pays industrialisés. Les comparaisons de ce type sont possibles parce que la majorité des données internationales de contrôle a également été obtenue par des méthodes spectroscopiques d'absorption atomique à la flamme. Toutefois, on ne saurait trop souligner que les résultats obtenus par ces méthodes sont presque invariablement **supérieurs** aux teneurs qui ont été signalées dans un nombre beaucoup plus petit d'échantillons semblables analysés par des méthodes plus sensibles. En raison des liens économiques et géographiques étroits qui existent entre le Canada et les États-Unis et de la grande quantité de données américaines disponibles, nous nous sommes servis des résultats de la surveillance effectuée aux États-Unis pour la plupart de nos comparaisons. Les conclusions préliminaires auxquelles nous sommes parvenus d'après ces comparaisons sont indiquées ci-dessous sous les rubriques appropriées. Le cas échéant, nous avons pris soin de mettre en évidence les résultats que nous considérons comme étant les plus fiables.

Air ambiant. – Une seule étude à l'échelon national, d'une durée de deux mois, a été faite sur les teneurs de l'air en cadmium dans les villes du Canada. Ses résultats indiquaient un niveau maximal de contamination de l'air des centres industriels densément peuplés plus faible au Canada (moins de 75 ng/m^3) que dans leurs contreparties américaines (moins de 730 ng/m^3) et une teneur médiane de moins de 2 ng/m^3 au niveau national, qui est comparable avec les teneurs moyennes pour les villes des États-Unis.

Une seule estimation a été faite sur la quantité de cadmium rejetée dans l'atmosphère au Canada par les sources industrielles et commerciales et des données récentes indiquent que les émissions estimées de certaines des sources ponctuelles majeures surveillées pourraient être erronées. On considérait que 78 p. 100 du total des émissions atmosphériques de cadmium provenaient de la production du cuivre et du nickel. Venaient ensuite les émissions dues à la

combustion des combustibles fossiles, estimées à 18 p. 100. Des émissions beaucoup moins importantes proviennent de la production de plomb, de zinc et d'acier, de l'incinération des déchets solides et de différentes autres sources. Calculées sur cette base, les émissions atmosphériques de cadmium attribuables aux activités humaines, au Canada, atteignaient 57 p. 100 de celles estimées pour les États-Unis.

Précipitations atmosphériques. – Les teneurs en cadmium dans les précipitations atmosphériques humides (pluie et neige) semblent être significativement inférieures au Canada par rapport à certains pays plus industrialisés. Il ne servirait à rien de comparer les teneurs "moyennes" en cadmium dans les précipitations humides en raison d'importantes différences dans les méthodes d'échantillonnage des différents pays et de la nature préliminaire de la plupart des données canadiennes qui ont été obtenues accessoirement à partir d'échantillons prélevés pour doser d'autres polluants atmosphériques. On peut conclure provisoirement que les teneurs médianes en cadmium dans les précipitations humides, au Canada, sont comparables à celles des eaux de surface.

Certaines recherches préliminaires sur les quantités de cadmium déposées par les précipitations atmosphériques humides dans le bassin des Grands Lacs ont été signalées par la Commission mixte internationale en 1977. Les dépôts calculés à partir des données des stations de surveillance excédaient 300 tonnes de cadmium par an; les charges prévues d'après un modèle mathématique étaient de 164 tonnes par an. Plus de 90 p. 100 de ces charges proviendraient de sources américaines et, sur le territoire canadien, les plus forts dépôts se trouvaient immédiatement au nord du lac Érié et dans la péninsule Niagara. Il n'existe aucune donnée comparable sur les retombées atmosphériques de cadmium pour d'autres vastes régions du Canada et le degré de migration transfrontalière du cadmium atmosphérique dans d'autres régions du pays est inconnu.

Eaux de surface. – Au Canada, certaines études d'eaux de surface non polluées pour lesquelles on a employé des méthodes analytiques relativement peu sensibles indiquent une teneur médiane en cadmium d'environ 1 p.p. 10^9 et des teneurs excédant 5 p.p. 10^9 dans seulement un très petit pourcentage des échantillons. Aux États-Unis, des études semblables ont donné des résultats comparables ou légèrement supérieurs. Un petit nombre de travaux plus sophistiqués réalisés au Canada, aux États-Unis et en Australie, à l'aide de méthodes analytiques plus sensibles, indiquent toutefois que les teneurs médianes réelles en cadmium dans les eaux de surface non polluées sont comprises entre 20 et 80 p.p. 10^{12}. Ces données sont indubitablement plus précises que celles des études de surveillance parce que plusieurs méthodes différentes ont donné des résultats situés dans cette plage de faibles teneurs. Bien que certaines recherches faites dans d'autres pays aient montré une variation saisonnière des teneurs en cadmium dans les eaux de surface courantes, aucun dosage saisonnier semblable n'a encore été effectué au Canada.

L'une des conséquences importantes des imperfections de la surveillance du cadmium dans les eaux de surface canadiennes est que les calculs du bilan massique et du transport ne peuvent être effectués de façon satisfaisante. On ignore toujours, par exemple, les quantités de cadmium transportées jusqu'à la mer par les eaux de surface, voie qui constitue probablement le principal moyen d'élimination du cadmium de l'environnement canadien. Il en va de même des charges de cadmium rejetées dans les eaux de surface canadiennes par les émissions combinées d'importantes sources, telles que les stations d'épuration; on ne peut les estimer que très grossièrement parce qu'aucun dosage précis des teneurs en cadmium des effluents d'eau d'égout n'a été effectué. Cette lacune existe aussi dans d'autres pays.

Eau potable. – Au Canada, la qualité de la surveillance de l'eau potable est analogue à celle de la surveillance des eaux de surface : certaines études faites à l'aide des anciennes méthodes analytiques indiquaient des teneurs moyennes de 1 à 10 p.p. 10^9 ou moins, alors que des études récentes ont indiqué une teneur médiane de quelques dizaines de parties par milliard. Ces dernières études ont été faites par le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social à l'aide de méthodes analytiques très sensibles et dans de bonnes conditions de contrôle de la qualité et portaient sur des échantillons d'eau potable de services publics qui desservent 63 p. 100 de la population canadienne. Dans l'ensemble, les plages des teneurs en cadmium déterminées dans l'eau potable se situaient entre moins de 10 et 490 p.p. 10^{12} dans la première étude et entre moins de 10 et 120 p.p. 10^{12} dans la deuxième. Malheureusement, les études d'eau dite potable portent presque invariablement sur des échantillons d'eau prélevés à la station d'épuration ou dans le système de distribution et non aux robinets et, aux Etats-Unis et en Europe, on a constaté à quelques reprises que l'eau était contaminée par du cadmium provenant du réseau de distribution et de la plomberie domestique. Il semble toutefois peu vraisemblable qu'au Canada la teneur moyenne en cadmium dans l'eau potable prélevée au robinet puisse excéder de beaucoup 25 p.p. 10^{12} parce que de tels cas de contamination par le cadmium signalés dans d'autres pays sont peu nombreux.

Sédiments. – Au Canada, les sédiments contaminés au voisinage des fonderies de zinc contiennent plusieurs centaines de p.p. 10^6 de cadmium; ces teneurs sont comparables aux plus fortes teneurs mesurées dans d'autres régions polluées du monde. D'autre part, les teneurs en cadmium dans les aires de sédimentation des Grands Lacs canadiens excèdent rarement 10 p.p. 10^6. (On a constaté que certains sédiments du lac Michigan ont une teneur en cadmium légèrement supérieure.) Les teneurs en cadmium des sédiments de cours d'eau n'ont pas été étudiées de façon approfondie dans les régions non contaminées du Canada ou des États-Unis mais de telles études ont été faites en Grande-Bretagne. Certains résultats préliminaires indiquent que les limites inférieures de détection des méthodes généralement utilisées actuellement (environ 1 p.p. 10^6) sont plus élevées que les teneurs en cadmium de ces sédiments peu contaminés. En général, la teneur en cadmium d'un sédiment donné est au moins 1000 fois plus forte que celle de l'eau du cours d'eau qui le recouvre.

Sol. – Au Canada, les teneurs en cadmium des sols contaminés voisins des fonderies de zinc de première fusion semblent, d'après les données d'études limitées, être significativement plus faibles que celles de régions comparables des États-Unis; ceci est probablement dû au fait que la pollution de l'air causée par l'affinage pyrométallurgique qui se pratique encore aux États-Unis est beaucoup plus forte que la pollution causée par l'affinage électrochimique employé au Canada. Le cadmium contamine également le sol dans le voisinage immédiat de certaines usines de fusion secondaire de métaux au Canada, bien qu'à des degrés nettement moindres en ce qui concerne la région affectée.

Au Canada, les teneurs en cadmium des sols non contaminés se situent dans la partie inférieure de la plage comprise entre environ 10 et 700 p.p. 10^9 généralement associée à ces sols dans d'autres régions du monde. Il s'agit-là de teneurs en cadmium "total"; la quantité de cadmium disponible pour l'absorption par les plantes est normalement bien moindre que la teneur en cadmium "total". Une étude récente des sols agricoles canadiens faite à l'échelle nationale donne une teneur médiane inférieure à 300 p.p. 10^9. D'autres études faites dans des régions géographiques plus petites du Canada et qui employaient des méthodes de contrôle de la qualité moins rigoureuses indiquent des teneurs moyennes en cadmium de 600 p.p. 10^9 approximativement avec, dans l'ensemble, des plages de teneur comprises entre environ

100 p.p. 10^9 et 8,1 p.p. 10^6. Les plus fortes valeurs s'appliquaient à des sols limoneux sur lesquels avaient été épandues des boues d'égout. En Australie, certaines études récentes employant des méthodes analytiques permettant de doser des quantités infinitésimales indiquent dans les sols agricoles des teneurs inférieures à 10 p.p. 10^9 ; il se pourrait donc fort bien que dans les sols non contaminés, au Canada, les teneurs en cadmium soient bien au-dessous de 300 p.p. 10^9.

Biotes. – Très peu d'études approfondies ont été faites au Canada ou à l'étranger sur les teneurs en cadmium des biotes. On ne trouve que rarement des données toxicologiques sur les effets chroniques du cadmium sur les biotes naturels, aux teneurs où il se trouve dans l'environnement, sauf pour certains organismes aquatiques et plantes cultivées. Les quelques données disponibles indiquent qu'à très peu d'exceptions près, les teneurs en cadmium dans les biotes sont, au Canada, comparables ou inférieures à celles qui ont été observées dans d'autres pays.

Boues d'égout. – La plage des teneurs en cadmium des boues d'eaux usées domestiques, qui offre un grand intérêt parce que ces boues sont de plus en plus utilisées à des fins agricoles, est généralement inférieure à celles des États-Unis. L'ensemble des plages signalées au Canada est compris entre 0,3 et 236 p.p. 10^6, par rapport à 0,1 et 3650 p.p. 10^6 aux États-Unis. Au Canada, les teneurs en cadmium des boues d'égout s'approchent de celles des pays d'Europe où les rejets de cadmium dans les eaux usées urbaines sont sévèrement contrôlés.

De façon générale et d'après les observations limitées ci-dessus, on peut conclure provisoirement que les teneurs actuelles en cadmium dans les milieux aquatiques et terrestres de l'environnement canadien comptent probablement parmi les plus faibles mesurées dans les pays industrialisés. Toutefois, les émissions atmosphériques de cadmium, au Canada, sont apparemment plus fortes que la moyenne pour des populations comparables; ceci est inquiétant parce que sur cette base, on pourrait normalement s'attendre à ce que ces émissions ne représentent qu'environ 10 p. 100 de celles enregistrées aux États-Unis. (On n'entend pas par là que la comparaison de telles statistiques soit invariablement valable, car cet écart apparent peut être expliqué de plusieurs façons. Nous n'avons employé ici cette méthode de comparaison qu'à titre d'exemple.) Il faut répéter, toutefois, que ces généralisations sont appuyées par des dosages de milieux qui sont, au mieux, semi-quantitatifs.

Bien que le cadmium soit persistant, toxique, très dispersé et qu'il se bio-accumule, on ne constate pas de bio-amplification significative (c.-à.-d. d'accumulation croissante d'un niveau trophique à un autre) dans la chaîne alimentaire aux teneurs normalement présentes dans les milieux non pollués, au Canada. Ces teneurs ambiantes sont également trop faibles pour causer des dommages irréversibles aux biotes les plus sensibles identifiés jusqu'à ce jour. La bio-accumulation du cadmium peut toutefois produire des teneurs bien supérieures à la moyenne dans certains tissus de biotes au voisinage d'importantes sources de pollution. Au Canada, il est malheureusement rare qu'on mesure précisément les teneurs en cadmium de l'environnement près des sources de pollution au moment où les échantillons de biotes sont prélevés, de sorte qu'il est impossible de déterminer si ces teneurs excèdent les valeurs admissibles ou non. Toutefois, dans les rares cas où, lors d'études toxicologiques conduites en laboratoire, les teneurs tissulaires réelles en cadmium ont été déterminées en fonction des doses appliquées, les teneurs tissulaires associées aux effets toxiques chroniques étaient nettement plus élevées que celles qui avaient été trouvées dans n'importe quelle région contaminée au Canada. Comme le nombre des données de ce type est très restreint, on ne peut prétendre en toute certitude qu'au voisinage des sources de contamination tous les biotes sont en sécurité. Il reste encore beaucoup à faire pour déterminer les teneurs "critiques" dans certains tissus spécifiques d'une vaste gamme de biotes représentatifs et ainsi définir la signification toxicologique des "fortes" teneurs tissulaires en cadmium.

Comme le cadmium dans les aliments constitue une menace potentielle pour les humains, on s'est récemment beaucoup préoccupé de la teneur en cadmium des sols agricoles, particulièrement là où l'on recourt à l'épandage de boues d'égout pour la fertilisation et l'amendement des sols. Le cadmium est fortement retenu par la plupart des sols et sa teneur dans un sol n'est que l'un des nombreux facteurs qui influencent sa teneur dans les plantes cultivées. Il faut savoir que les teneurs en cadmium des plantes cultivées qui pourraient à long terme faire augmenter considérablement les teneurs en cadmium dans le corps humain sont inférieures à celles auxquelles la phytotoxicité due à l'élément a été observée. Il est donc très important de décourager toute méthode agricole inappropriée susceptible d'augmenter l'absorption du cadmium par les plantes cultivées destinées à la consommation humaine. (Ces méthodes comprennent l'épandage sans discrimination de boues d'égout à forte teneur ou à teneur inconnue en cadmium, l'addition involontaire de cadmium sous toutes ses formes dans des produits chimiques agricoles épandus sur des sols acides ou fortement minéralisés, la sélection de cultures inappropriées pour des sols à forte teneur en cadmium, etc.) Dans les conditions de gestion agricole appropriée qui existent généralement au Canada, il est fort peu probable que l'épandage de boues d'égout, d'engrais phosphatés, etc., entraîne des augmentations mesurables de la teneur en cadmium dans les plantes destinées à la consommation humaine.

Pour des raisons qui restent a éclaircir et dont l'une serait sa culture dans des sols acides, les teneurs en cadmium du tabac canadien semblent être considérablement plus fortes que celles des tabacs d'un grand nombre d'autres pays; ce fait peut avoir une influence significative sur la charge corporelle de cadmium chez les fumeurs canadiens.

La majeure partie de l'information disponible sur les teneurs actuelles en cadmium dans l'environnement canadien est de nature statique, alors que seule l'information sur les taux de modifications des teneurs en cadmium dans différents milieux et sur les relations existant entre ces taux peut véritablement servir à évaluer si ces teneurs pourraient ultérieurement constituer un danger pour l'homme ou l'environnement. Ainsi, bien que les teneurs actuelles en cadmium dans l'environnement canadien semblent être généralement plus faibles que la teneur toxique chronique inférieure connue et que les teneurs en cadmium d'un grand nombre de milieux soient soumises à des mécanismes biogéochimiques de contrôle, on ne peut actuellement en prévoir l'évolution de façon fiable.

Dans certains cas où il existe une information fiable sur le taux de modification des teneurs en cadmium, comme dans le cas des carottes de sédiments, il est évident que des augmentations significatives se sont produites à cause de l'activité industrielle. Un nombre plus limité d'étude faites en Scandinavie indique également que les teneurs tissulaires en cadmium dans les biotes ont augmenté au cours du XX^{e} siècle. Le taux d'augmentation dans le blé, le cortex rénal humain et certains tissus fauniques se situerait approximativement entre 1 et 2 p. 100 par an. Une tendance à la hausse a également été constatée dans les teneurs en cadmium de feuilles d'arbres ramassées pendant plusieurs décennies à Toronto.

Il est préoccupant de constater que la tendance à la hausse des teneurs en cadmium dans l'environnement (confirmée par l'analyse de carottes de sédiments), ait continué en dépit d'une diminution récente du taux global d'utilisation commerciale de cet élément et de ses composés. On ne sait si ce phénomène est dû à des activités industrielles indirectement reliées à l'utilisation du cadmium (comme la fonte d'autres métaux, la combustion de combustibles fossiles et la fertilisation des sols) ou à un décalage dans le temps entre l'utilisation commerciale du cadmium et son entrée dans l'environnement par la voie de l'élimination des déchets.

7. Exposition des humains au cadmium

L'alimentation, la fumée de tabac et l'exposition professionnelle constituent la quasi-totalité des sources d'exposition au cadmium pour la population canadienne en général. Si l'air ambiant et l'eau potable font partie des sources significatives dans les analyses d'exposition venant d'autres pays, des études de l'eau potable fournie par les services d'approvisionnement municipal et de l'air urbain indiquent qu'au Canada, l'effet combiné de ces deux sources sur la population en général résulte en l'absorption de moins de 50 ng de cadmium par personne et par jour. Plusieurs autres sources de cadmium peuvent être importantes pour de très petites communautés ou groupes d'âges, mais non pour l'ensemble de la population. La plus importante de ces sources est probablement l'inhalation du cadmium en suspension dans l'air au voisinage de sources ponctuelles industrielles comme les fonderies, les incinérateurs municipaux et les usines d'ailiages au cadmium mais il existe peu de données disponibles au Canada à l'appui de cette hypothèse. Différents autres types d'exposition peu fréquente au cadmium et qui ne concernent qu'un petit nombre d'individus pourraient comprendre : la contamination des aliments par contact avec des ustensiles traités par électrodéposition ou des ustensiles en céramique vitrifiée, l'inhalation de poussière domestique contaminée, l'ingestion du cadmium provenant de certains produits dentaires ou l'exposition associée à des passe-temps comme la poterie, le travail des métaux ou la peinture. Aucune information spécifique n'est disponible sur ces types d'exposition au cadmium au Canada.

L'information publiée sur la quantité de cadmium contenue dans le régime alimentaire des Canadiens est limitée principalement à des études de "régime alimentaire total" qui ont été faites dans quatre grands centres, il y a plusieurs années, par le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Dans ces études, certains aliments achetés localement étaient apprêtés comme on l'aurait fait normalement et des échantillons composés de douze sortes d'aliments ainsi préparés furent analysés tous les trois mois pendant un an pour en doser le cadmium. Comme Statistique Canada compile chaque année la quantité per capita des aliments appartenant aux sortes choisies et disponibles pour la distribution au détail, il est possible d'estimer pour le Canada la teneur en cadmium d'un régime alimentaire journalier "moyen" ou "composé". Une étude de ce type a été effectuée chaque année de 1969 à 1972. Pour ces années, les teneurs moyennes en cadmium dans les régimes alimentaires composés journaliers étaient respectivement de 80, 67, 67 et 52 μg par personne et par jour.

Ces données doivent, pour plusieurs raisons, être considérées comme une indication tout au plus de la quantité réelle de cadmium contenue dans le régime alimentaire d'un Canadien "moyen". Premièrement, rien, dans les publications relatives à ces études, n'indique qu'un soin particulier a été apporté au contrôle de la qualité intralaboratoire; un autre détail est qu'aucun échantillon de la première étude n'était réanalysé lors des études subséquentes. De ce fait, les diminutions apparentes de la teneur en cadmium des régimes alimentaires pendant la durée de cette étude seraient plutôt dues à une meilleure utilisation des méthodes analytiques au fil des ans qu'à des baisses réelles de la teneur en cadmium dans le régime alimentaire, selon l'emplacement ou l'année d'échantillonnage. Deuxièmement, les statistiques employées pour calculer le régime composé sont basées sur les ventes des aliments choisis et non sur leur consommation réelle et ne tiennent par conséquent pas compte des aliments mis au rebut ou non consommés. Troisièmement, les statistiques de la disparition des aliments varient modérément d'année en année mais un régime composé constant était employé dans cette étude quadriennale. Quatrièmement, la méthodologie analytique employée était relativement peu sensible et un pourcentage non indiqué des résultats obtenus ne correspond qu'aux limites de détection.

Toutefois, ces résultats ont été définis comme étant égaux à la moitié de la limite de détection pour chaque sorte d'aliments si bien que les "moyennes" calculées sont biaisées à un degré inconnu. L'une des autres conséquences de l'utilisation d'une méthodologie peu sensible est que la plupart des autres résultats analytiques ne sont précis, dans le meilleur des cas, qu'à un chiffre significatif, ce qui introduit également d'importantes incertitudes dans les calculs de la teneur en cadmium dans le régime composé. Cinquièmement, les études des taux de récupération du cadmium à des teneurs qui excèdent de façon importante les teneurs moyennes trouvées suggèrent fortement que, dépendant de la méthode analytique employée, des quantités significatives de cet élément étaient perdues. Sixièmement, les résultats obtenus sont plus élevés que ceux qui ont été obtenus dans des études semblables faites aux États-Unis, constatation qu'il est difficile de faire concorder avec le fait que les études américaines étaient basées sur une plus forte consommation d'aliments par habitant et qu'une bonne partie des aliments rentrant dans le régime des Canadiens sont importés des États-Unis. La dernière raison, et non la moindre, est que les estimations de la "moyenne" ci-dessus sous-estiment indubitablement l'ingestion réelle de cadmium par la portion inconnue de la population dont la consommation d'aliments est supérieure à la moyenne, ou qui consomme des aliments intrinsèquement plus riches en cadmium. Ces aliments sont notamment les fruits et les légumes, de sorte qu'on pourrait s'attendre à ce que les végétariens, par exemple, ingèrent des quantités de cadmium supérieures à la moyenne. D'autres aliments, notamment le foie, les rognons et les huîtres, qui ne constituent heureusement pas une partie importante des régimes ordinaires, contiennent des teneurs en cadmium très supérieures à la moyenne. Le "tomalley" et la pâte de homard semblent être les aliments les plus riches en cadmium. Ces aliments peuvent contenir des teneurs en cadmium de mille à dix mille fois supérieures à celles des aliments à teneur "moyenne".

De plus, il a été signalé récemment qu'au Canada, les teneurs en cadmium des aliments donnés aux nourrissons pourraient être suffisamment fortes pour que ceux-ci ingèrent beaucoup plus que 1 μg de cadmium par kilo de poids corporel et par jour pendant les premiers mois de leur vie. (Comme nous l'avons indiqué précédemment, les valeurs contenues dans la directive FAO/OMS sont équivalentes à l'ingestion d'environ 1 μg/kg de poids corporel/jour pour un individu normal pesant 70 kg.) Dans une autre étude, le dosage du cadmium contenu dans des repas sélectionnés servis dans la caféteria d'une université canadienne indiquait une absorption journalière moyenne de 73 μg de cadmium par personne. La description de la méthodologie analytique utilisée dans cette étude n'est pas suffisante pour que la fiabilité des résultats puisse être évaluée.

Finalement, une autre observation pertinente est que des recherches analytiques sur des fèces humaines, conduites dans d'autres pays et dont les résultats viennent d'être connus, montrent que les teneurs en cadmium trouvées étaient significativement inférieures à celles qui pouvaient être prévues d'après des estimations des teneurs en cadmium du régime alimentaire et les études d'absorption du cadmium. On peut déduire de ces constatations que les difficultés rencontrées pour dresser les statistiques et faire les dosages conduisent à surestimer l'ingestion du cadmium dans les études portant sur le "régime total" ou le "panier d'aliments". Aucune comparaison de ce genre n'a malheureusement été faite au Canada.

D'après tous les facteurs ci-dessus, il apparaît clairement qu'il est très difficile de tirer des conclusions définitives sur les teneurs réelles en cadmium dans le régime des Canadiens ou sur la signification de ces teneurs en fonction de la directive provisoire FAO/OMS qui mentionne la valeur de 400 à 500 μg par personne et par semaine.

Il n'existe pas de données fiables sur la teneur en cadmium de la fumée des cigarettes canadiennes et, par conséquent, sur l'ingestion et l'absorption de cet élément en provenance de cette

source. Selon certains modèles mathématiques, il faudrait fumer approximativement 200 cigarettes par jour pendant 50 ans pour atteindre la teneur "critique" de 200 p.p. 10^6 en poids frais dans le cortex rénal si c'était là la seule source d'exposition au cadmium. D'après certaines données analytiques sur la teneur en cadmium du tabac canadien, on a estimé que les gros fumeurs (environ 40 cigarettes par jour) peuvent absorber et retenir autant de cadmium par les cigarettes que par les aliments. Au Canada, les seules données numériques relatives à cette question sont dérivées d'une étude des teneurs en cadmium dans les reins de petits groupes de fumeurs (31 sujets) et de non-fumeurs (30 sujets). Les teneurs moyennes en cadmium dans les tissus des fumeurs étaient deux ou trois fois plus fortes que celles trouvées chez les non-fumeurs. Toutefois, aucune relation dose-effet n'a pu être observée parce que la teneur en cadmium chez les gros fumeurs était comparable à celle trouvée chez les petits et moyens fumeurs. Les teneurs moyennes en cadmium calculées dans le cortex rénal, en poids humide, étaient de 58 et 25 p.p. 10^6 respectivement pour les fumeurs et les non-fumeurs; les valeurs médianes correspondantes étaient respectivement de 57 et 20 p.p. 10^6 et les plages correspondantes, de 14 à 120 et de 7 à 71 p.p. 10^6. Dans cette étude, l'âge moyen des fumeurs (49 ans) était raisonnablement proche de celui des non-fumeurs (56 ans). Les fumeurs s'exposeraient ainsi volontairement à des teneurs en cadmium deux ou trois fois plus élevées que les non-fumeurs.

D'après les résultats des analyses de tissus humains dont il vient d'être question et ceux que nous avons cités précédemment, il est évident que les teneurs en cadmium du cortex rénal des Canadiens dont les sources d'exposition au cadmium sont les aliments, l'air ambiant, l'eau potable, la fumée du tabac et des sources diverses autres que les sources industrielles demeurent très inférieures à la teneur "critique" de 200 p.p. 10^6 en poids frais à l'âge de 50 ans. Par conséquent, bien que les données disponibles ne soient pas aussi nombreuses qu'on pourrait le souhaiter, rien n'indique que l'exposition au cadmium présente un danger significatif pour les Canadiens qui ne sont pas professionnellement en contact avec cet élément et ses composés.

Au Canada, le degré et l'étendue de l'exposition industrielle au cadmium ne sont pas suffisamment documentés. Toutefois, on peut s'attendre à ce que les ouvriers exposés aux vapeurs de cadmium métallique (qui se dégagent d'opérations comme la fonte des concentrés de minerai de zinc, la fabrication des alliages au cadmium et les opérations spéciales de soudage) absorbent plus de cadmium que les travailleurs qui sont exposés à une teneur équivalente en cadmium mais se dégageant de poussières (par exemple, la fabrication et l'utilisation des pigments) parce que l'inhalation de vapeurs est beaucoup plus considérable. Le risque d'absorption de cadmium pour les ouvriers travaillant dans des ateliers d'électro-déposition, opération au cours de laquelle le cadmium n'est pas libéré dans l'air ambiant en teneurs appréciables, est beaucoup plus petit.

Par conséquent, la petite portion de la population canadienne composée de fumeurs exposés industriellement à long terme aux vapeurs de cadmium est la plus susceptible d'être atteinte de troubles provoqués par le cadmium. Comme rien n'a encore été publié sur les teneurs tissulaires en cadmium qui prévalent dans cette classe de la population, il est impossible pour le moment d'évaluer quantitativement ce risque.

8. Biochimie et métabolisme du cadmium

Le cadmium n'est pas considéré comme étant un oligo-élément intervenant dans les processus métaboliques normaux des humains ou des animaux.

L'inhalation et l'ingestion sont les principales voies d'entrée du cadmium dans l'organisme. Chez l'homme, le taux d'absorption par inhalation des composés solubles de cadmium est estimé à 25 p. 100 alors que le cadmium qui se dégage de vapeurs de cadmium pourrait être absorbé

à 50 p. 100. Chez l'homme, 3 à 6 p. 100 du cadmium est retenu par le tractus gastro-intestinal de sorte qu'approximativement 95 p. 100 du cadmium ingéré par voie buccale sont éliminés dans les fèces.

Des études sur des animaux indiquent qu'immédiatement après l'exposition, le cadmium séjourne principalement dans le plasma sanguin et se concentre ensuite surtout dans le foie et les reins. Le cadmium est complexé avec une protéine de faible poids moléculaire appelée métallothionéine; le cortex rénal constitue le principal site d'accumulation du cadmium provenant de l'exposition à long terme à de faibles teneurs de cet élément. Le tiers de la charge corporelle de cadmium à long terme se trouve dans les reins. On estime que la demi-vie biologique du cadmium dans le cortex rénal se situe entre 18 et 38 ans.

Les indicateurs biologiques de l'exposition au cadmium comprennent les teneurs en cadmium dans l'urine et le sang. Les teneurs en cadmium dans les liquides biologiques et les organes de personnes soumises à la même exposition varient fortement. Les voies d'élimination du cadmium absorbé sont l'urine, les cheveux, les ongles et la bile; la bile et l'urine sont considérées comme étant les principales voies d'excrétion.

Le rapport cadmium/zinc peut avoir autant d'importance que la quantité absolue de chacun de ces métaux. La diminution de la toxicité du cadmium par les composés du zinc ou les composés sulfhydryles est reliée à des réactions au niveau enzymatique. L'état nutritionnel des animaux utilisés pour les expériences est important lorsqu'on mesure les toxicités exprimées du cadmium.

9. Toxicité du cadmium pour l'être humain

Les poumons et les reins sont respectivement les organes les plus touchés par l'inhalation aiguë de cadmium et l'ingestion chronique.

La toxicité par inhalation aiguë est habituellement causée par des vapeurs de cadmium métallique ou des poussières contenant du cadmium. Il se produit une irritation des voies respiratoires supérieures suivie de toux, douleurs thoraciques, sudation et frissons. La dyspnée et l'oedème pulmonaire peuvent se développer. La mort peut s'ensuivre chez les sujets les plus exposés. Ceci se produit principalement chez des sujets exerçant certaines professions et qui ont été exposés brièvement à de fortes teneurs en cadmium en suspension dans l'air.

En ce qui concerne les répercussions chroniques sur les sujets, les deux principales lésions pathologiques associées au cadmium sont l'emphysème pulmonaire et l'endommagement des tubules rénaux. L'emphysème semble être directement relié à l'inhalation par exposition en milieu professionnel par exemple. L'endommagement des tubules rénaux constitue la répercussion chronique la mieux identifiée de l'exposition au cadmium. Le dysfonctionnement rénal est probablement irréversible et la protéinurie en est un symptôme. Les teneurs en β-2-microglobuline et l'excrétion d'α-2-microglobuline servent à déceler la protéinurie. À mesure que le cadmium s'accumule dans le cortex rénal, il inhibe la réabsorption tubulaire ce qui entraîne une augmentation de la β-2-microglobuline dans l'urine et une protéinurie plus générale. Un grand nombre de travaux cliniques et épidémiologiques récents sur la néphrotoxicité du cadmium comprenaient la surveillance des teneurs en β-2-microglobuline dans l'urine.

La toxicité chronique du cadmium est parfois constatée après une exposition professionnelle prolongée à différents composés solubles de cadmium. Une bronchite chronique suivie d'emphysème constitue les signes normaux de cette maladie professionnelle qui peut être aggravée par l'augmentation des teneurs tissulaires en cadmium chez certains ouvriers gros fumeurs. Les modifications systémiques comprennent des lésions rénales accompagnées d'anémie, de protéinurie et d'une augmentation de la vitesse de sédimentation. L'amino-acidurie, la glycosurie et la formation de calculs rénaux sont également observées chez les ouvriers exposés chroniquement au cadmium.

On s'inquiète à l'effet que le cadmium puisse avoir un pouvoir cancérogène et que, partant, sa présence dans l'environnement constituerait une menace pour les humains. On n'a trouvé aucun indice de relation directe entre l'exposition au cadmium et le cancer. Quelques études épidémiologiques de petits nombres d'ouvriers exposés professionnellement au cadmium semblent indiquer une relation possible entre l'exposition au cadmium et le cancer de la prostate et des voies respiratoires. Les indices à l'effet que le cadmium serait cancérogène sont loin d'être sans équivoque, même lorsqu'ils se rapportent à des cas d'exposition à des teneurs élevées en cadmium, et les preuves recueillies jusqu'ici sont en général considérées comme peu convaincantes.

D'autres études épidémiologiques ont porté sur la maladie Itaï-itaï ("aïe-aïe") dans les régions du Japon polluées par le cadmium et sur la relation possible entre l'exposition au cadmium et l'hypertension. La maladie Itaï-itaï est caractérisée comme étant une maladie osseuse endémique associée à l'accumulation de cadmium dans les tissus et au ramollissement des os par décalcification. L'ostéomalacie des ouvriers exposés au cadmium et l'apparition de problèmes des tubules rénaux chez les sujets atteints de la maladie Itaï-itaï et les personnes exposées au cadmium indiquent que cet élément a constitué un facteur essentiel de la progression de cette maladie osseuse. D'après les études sur la relation possible du cadmium avec l'hypertension, il semblerait que la quantité de cadmium et le rapport cadmium/zinc dans les reins sont plus élevés chez les sujets atteints d'hypertension essentielle que chez les normotendus. Toutefois, certaines études épidémiologiques d'ouvriers exposés au cadmium n'ont pas montré que le cadmium constituait un facteur significatif de l'hypertension.

Très peu d'études ont été publiées sur la tératogénicité du cadmium pour les humains et aucune conclusion ne peut en être tirée.

Quelques études des effets mutagènes du cadmium chez les sujets exposés à cet élément ont été publiées. Elles constituaient principalement des recherches sur les aberrations chromosomiques et d'autres travaux effectués de préférence à l'aide de méthodes normalisées seront nécessaires avant qu'une tendance quelconque puisse être dégagée ou que des conclusions valides puissent en être tirées.

Les effets suivants ont été constatés chez certains animaux exposés au cadmium lors d'études toxicologiques : anomalies fétales, anémie, hypertension, dégénérescence osseuse, modification du métabolisme des minéraux et répercussions pancréatiques. Un grand nombre de recherches sur les interactions du cadmium avec d'autres métaux lourds et éléments ont révélé que les répercussions synergiques les plus fréquentes se produisent avec le plomb. D'autres études ont montré que le métabolisme de plusieurs oligo-éléments comme le zinc, le fer, le sélénium et le cuivre peut être modifié par l'exposition au cadmium.

Annexe II

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Les lecteurs souhaitant consulter l'information générale sur le cadmium peuvent utiliser la liste chronologique des publications ci-dessous. Les références à des études plus spécialisées touchant certains sujets particuliers et résumés dans le présent rapport peuvent également être obtenues en adressant une demande au ministère de la Santé nationale et du Bien-être social pour des informations relatives à la santé ou au ministère de l'Environnement du Canada pour les questions relevant de l'environnement. Il est également possible d'accéder à notre collection de documents scientifiques, aux tabulations de données, notes de travail et autres informations de base en communiquant avec le ministère approprié.

D.M. Chizhikov, "Cadmium", D.E. Hayler, Transl., Pergamon Press, Toronto, 1966.

R. Nilsson, "Aspects on the Toxicity of Cadmium and its Compounds", Ecological Research Committee Bulletin No. 7, Swedish Natural Science Research Council, Stockholm, Suède, 1970.

L. Friberg, M. Piscator, et G. Nordberg, "Cadmium in the Environment", CRC Press, Cleveland, 1971.

"Cadmium : The Dissipated Element", W. Fulkerson et H.E. Goeller, Eds., Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1973.

M. Fleischer, A.F. Sarofim, D.W. Fassett, P. Hammond, H.T. Shacklette, I.C.T. Nisbet, et S. Epstein, "Environmental Impact of Cadmium : A Review by the Panel on Hazardous Trace Substances", *Environmental Health Perspectives*, Exp. Issue No. 7, Mai 1974, p. 253-323.

L. Friberg, M. Piscator, G.F. Nordberg et T. Kjellstrom, "Cadmium in the Environment", 2nd ed., CRC Press, Cleveland, 1974.

"Cadmium and the Environment : Toxicity, Economy, Control", Direction de l'environnement, Organisation pour la coopération et le développement économique, Paris, 1975.

L. Friberg, T. Kjellstrom, G. Nordberg, et M. Piscator, "Cadmium in the Environment III. A Toxicological and Epidemiological Appraisal", U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C. Rapport EPA 650/2-75-049, 1975.

"Scientific and Technical Assessment Report on Cadmium", U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C. 20460. Rapport EPA-600/6-75-003, 1975.

OMS, "IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man", Vol. 11, Agence internationale de recherche sur le cancer, Lyon, 1976. p. 39-74.

A.S. Hammons, J.E. Huff, H.M. Braunstein, J.S. Drury, C.R. Shriner, E.B. Lewis, B.L. Whitfield, et L.E. Towill, "Reviews on the Environmental Effects of Pollutants : IV. Cadmium", Department of Energy, Washington, D.C., and U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio 45268. Rapport EPA-600/1-78-026, 1978.

H. Babich et G. Stotzky, "Effects of Cadmium on the Biota : Influence of Environmental Factors", dans *Advances in Applied Microbiology*, Volume 23, D. Perlman, Ed., Academic Press, New York, N.Y. 10003, p. 55-117, 1978.

Commission des communautés européennes, "Criteria (Dose/Effect Relationships) for Cadmium", Pergamon Press, Toronto, 1978.

"Les effets du cadmium dans l'environnement canadien", Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Conseil national de recherche Canada, Ottawa, publication NRCC nº 16744.

"The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadmium", M. Webb, Ed., Elsevier, New York, 1979.

"Cadmium in the Environment. Part I : Ecological Cycling", J.O. Nriagu, Ed., Wiley-Interscience, Toronto, 1980.

"Cadmium in the Environment and its Significance to Man", Pollution Paper No. 17, Department of the Environment, Londres, Angleterre, 1980.

"Cadmium Pollution. A Report on the Use, Occurrence and Harmful Effects of Cadmium in Denmark", Direction de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Copenhague, Danemark (en danois avec résumé anglais).

P. de Voogt, B. van Hattam, J.F. Feenstra, et J.W. Copius Peereboom, "Exposure and Health Effects of Cadmium. Part I. Cadmium in the Environment, Exposure to Cadmium", *Tox. Environ. Chem Rev.*, 3:89-109, 1980.

U. Forstner, "Cadmium", dans *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 3, Part A, Anthropogenic Compounds, O. Hutzinger, Ed., Springer-Verlag, New York, N.Y., p. 59-107, 1980.

"Cadmium in the Environment. Part II : Health Effects", J.O. Nriagu, Ed., Wiley-Interscience, Toronto, 1981.

J.W. Copius Peereboom et J.H.J. Copius Peereboom-Stegeman, "Exposure and Health Effects of Cadmium. Part 2. Toxic Effects of Cadmium to Animals and Man, *Tox. Environ. Chem Rev.*, *4*: 67-178, 1981.

M.L. Pool, "Exposure and Health Effects of Cadmium. Part 3. Effects of Cadmium on Enzyme Activities", *Tox. Environ. Chem. Rev.*, *4*: 179-203, 1981.

"Cadmium and its Compounds : Health Impact of Production and Usage in the Workplace", Hatch Associates Ltd., Toronto, 1981. Exécuté sous contrat pour le Ministre du Travail de l'Ontario.

"Health Assessment Document for Cadmium" U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Research Triangle Park, N.C., Rapport EPA-600/8-81-023, 1981.

M. Hutton, "Cadmium in the European Community : A Prospective Assessment of Sources, Human Exposure and Environmental Impact", MARC Report No. 26, Monitoring and Assessment Research Centre, Chelsea College, University of London, Angleterre, 1982.

"Updated Mutagenicity and Carcinogenicity Assessment of Cadmium" (External Review Draft) U.S. Environmental Protection Agency, Rapport EPA-600/8-83-025, 1983.